



## Acerca de este libro

Esta es una copia digital de un libro que, durante generaciones, se ha conservado en las estanterías de una biblioteca, hasta que Google ha decidido escanearlo como parte de un proyecto que pretende que sea posible descubrir en línea libros de todo el mundo.

Ha sobrevivido tantos años como para que los derechos de autor hayan expirado y el libro pase a ser de dominio público. El que un libro sea de dominio público significa que nunca ha estado protegido por derechos de autor, o bien que el período legal de estos derechos ya ha expirado. Es posible que una misma obra sea de dominio público en unos países y, sin embargo, no lo sea en otros. Los libros de dominio público son nuestras puertas hacia el pasado, suponen un patrimonio histórico, cultural y de conocimientos que, a menudo, resulta difícil de descubrir.

Todas las anotaciones, marcas y otras señales en los márgenes que estén presentes en el volumen original aparecerán también en este archivo como testimonio del largo viaje que el libro ha recorrido desde el editor hasta la biblioteca y, finalmente, hasta usted.

## Normas de uso

Google se enorgullece de poder colaborar con distintas bibliotecas para digitalizar los materiales de dominio público a fin de hacerlos accesibles a todo el mundo. Los libros de dominio público son patrimonio de todos, nosotros somos sus humildes guardianes. No obstante, se trata de un trabajo caro. Por este motivo, y para poder ofrecer este recurso, hemos tomado medidas para evitar que se produzca un abuso por parte de terceros con fines comerciales, y hemos incluido restricciones técnicas sobre las solicitudes automatizadas.

Asimismo, le pedimos que:

- + *Haga un uso exclusivamente no comercial de estos archivos* Hemos diseñado la Búsqueda de libros de Google para el uso de particulares; como tal, le pedimos que utilice estos archivos con fines personales, y no comerciales.
- + *No envíe solicitudes automatizadas* Por favor, no envíe solicitudes automatizadas de ningún tipo al sistema de Google. Si está llevando a cabo una investigación sobre traducción automática, reconocimiento óptico de caracteres u otros campos para los que resulte útil disfrutar de acceso a una gran cantidad de texto, por favor, envíenos un mensaje. Fomentamos el uso de materiales de dominio público con estos propósitos y seguro que podremos ayudarle.
- + *Conserve la atribución* La filigrana de Google que verá en todos los archivos es fundamental para informar a los usuarios sobre este proyecto y ayudarles a encontrar materiales adicionales en la Búsqueda de libros de Google. Por favor, no la elimine.
- + *Manténgase siempre dentro de la legalidad* Sea cual sea el uso que haga de estos materiales, recuerde que es responsable de asegurarse de que todo lo que hace es legal. No dé por sentado que, por el hecho de que una obra se considere de dominio público para los usuarios de los Estados Unidos, lo será también para los usuarios de otros países. La legislación sobre derechos de autor varía de un país a otro, y no podemos facilitar información sobre si está permitido un uso específico de algún libro. Por favor, no suponga que la aparición de un libro en nuestro programa significa que se puede utilizar de igual manera en todo el mundo. La responsabilidad ante la infracción de los derechos de autor puede ser muy grave.

## Acerca de la Búsqueda de libros de Google

El objetivo de Google consiste en organizar información procedente de todo el mundo y hacerla accesible y útil de forma universal. El programa de Búsqueda de libros de Google ayuda a los lectores a descubrir los libros de todo el mundo a la vez que ayuda a autores y editores a llegar a nuevas audiencias. Podrá realizar búsquedas en el texto completo de este libro en la web, en la página <http://books.google.com>



## A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

## Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

- + *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.
- + *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.
- + *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.
- + *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

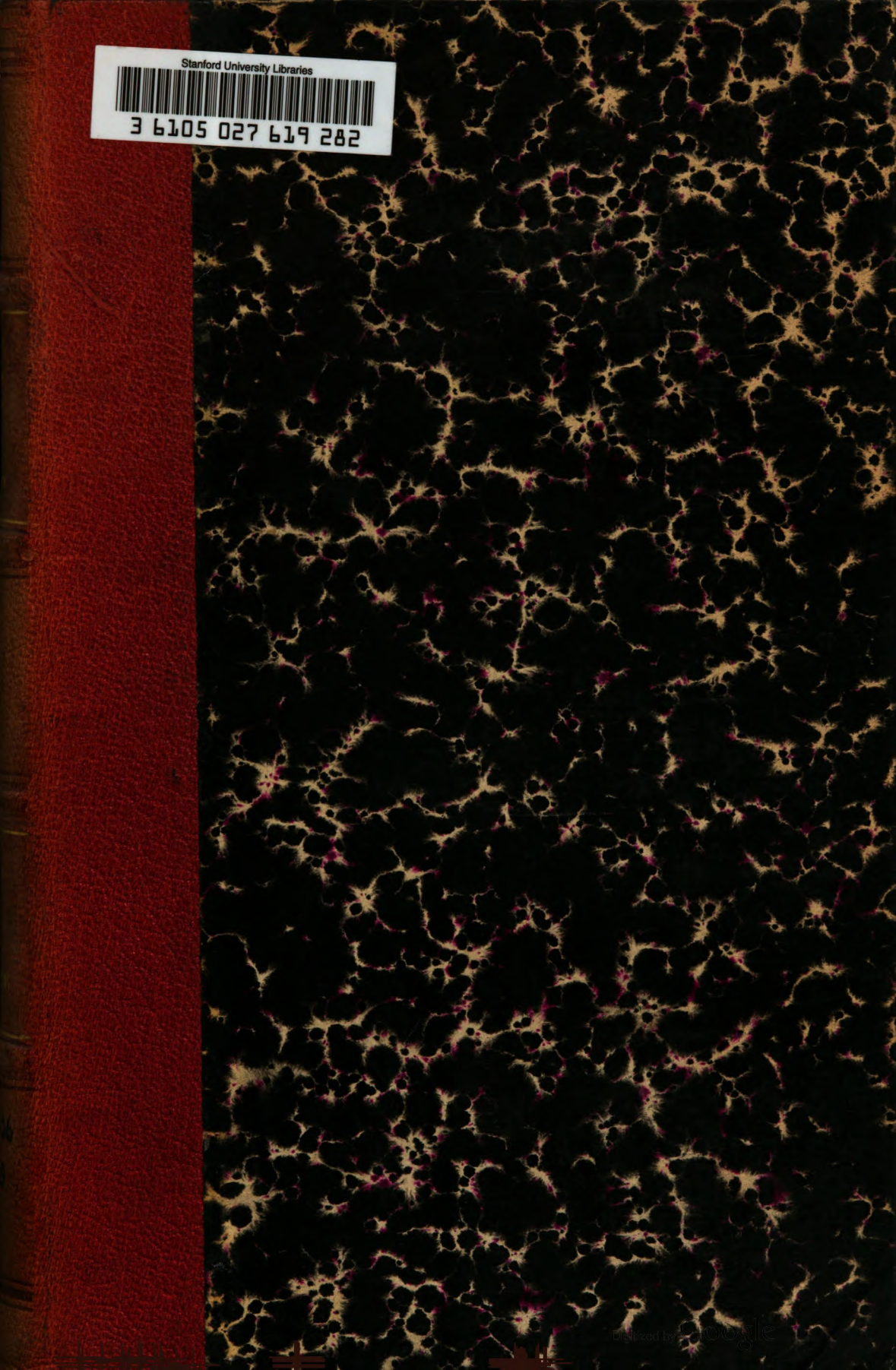
## À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse <http://books.google.com>

Stanford University Libraries



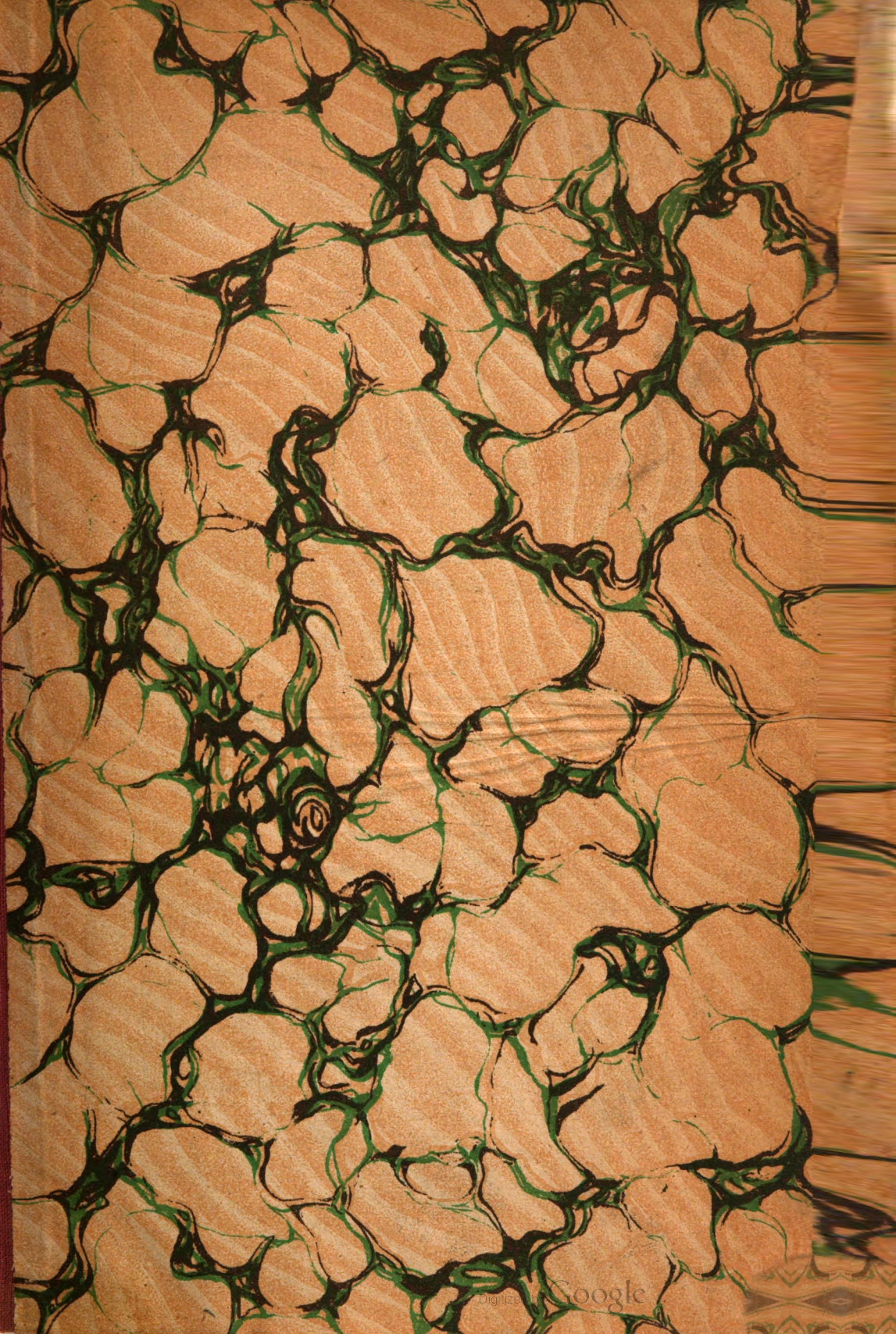
3 6105 027 619 282











621,376

A849











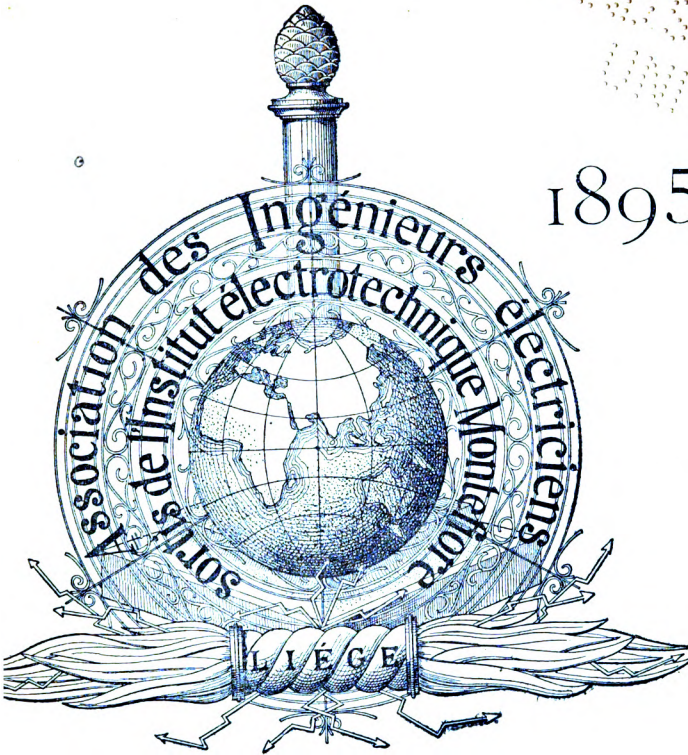








LIBRARY  
UNIVERSITY OF  
1895-1896



1895-1896

TOME VII

(2<sup>e</sup> SÉRIE)

# Bulletin

## RÉDACTION

M. G. L'HOEST, quai Mativa, 22, Liège  
*Secrétaire Général.*

## ÉDITEURS

MM. GAUTHIER-VILLARS et fils  
*Quai des Grands-Augustins, 55*  
**PARIS.**

---

Imprimerie : LÉON DE THIER  
*Boulevard de la Sauvenière, 10, Liège*

La reproduction des articles, lorsqu'elle n'est pas explicitement réservée, est autorisée pour les publications échangées avec le présent bulletin.

**Abonnement annuel . . . . Fr. 20-»**

101282

101282

## LISTE DES MEMBRES.

---

### PRÉSIDENT D'HONNEUR :

M. le Sénateur George MONTEFIORE, fondateur de l'Institut Montefiore, rue de la Science, 35, Bruxelles.

### VICE-PRÉSIDENT D'HONNEUR :

M. Eric GERARD, directeur de l'Institut Montefiore, rue Saint-Gilles, 43, Liège.

### MEMBRES HONORAIRES :

MM. AYRTON, W. E., professeur au City and Guilds of London central Institution, Exhibition Road, Londres S. W. (Grande-Bretagne);

BANNEUX, P. J., directeur d'administration des Télégraphes, Bruxelles;

CORNU, M. A., membre de l'Institut, ingénieur en chef des mines, professeur à l'École polytechnique, rue de Grenelle, 9, Paris (France);

DELARGE, Frédéric, directeur-général des Télégraphes (Hôtel des Télégraphes), Bruxelles;

FERRARIS, Galileo, professeur à l'Université de Turin (Italie);

† HERTZ, Henri, professeur à l'Université de Bonn (Allemagne);

HOPKINSON, J., professeur au King's College de Londres, Victoria Street, 5, Westminster Chambers, Londres (Grande-Bretagne);



- MM. Lord KELVIN of LARGS, professeur à l'Université de Glasgow (Grande-Bretagne);
- KITTLER, Erasmus, professeur à l'École technique supérieure de Darmstadt (Allemagne);
- MASCART, E. E. N., membre de l'Institut, professeur au Collège de France, rue de l'Université, 176, Paris (France);
- POTIER, A., ingénieur en chef des mines, professeur à l'École polytechnique et à l'École des mines, membre de l'Institut, boulevard Saint-Michel, 89, Paris (France);
- ROITI, A., professeur à l'École des hautes études, Florence (Italie);
- ROUSSEAU, B., professeur à l'Université, rue Vautier, 30, Bruxelles;
- THOMSON, Elihu, professeur à Lynn (Mass.), États-Unis.

## COMITÉ :

|                        |                            |
|------------------------|----------------------------|
| MM. MÉLOTTE, Félix,    | <i>Président.</i>          |
| DE EAST, Omer,         | <i>Vice-Président.</i>     |
| BAYET, Maurice,        | <i>id.</i>                 |
| FRANCKEN, Edmond,      | <i>id.</i>                 |
| HENRARD, Georges,      | <i>id.</i>                 |
| L'HOEST, Gustave,      | <i>Secrétaire-Général.</i> |
| LARMOYER, Georges,     | <i>Trésorier.</i>          |
| BRUNHES, Louis,        | <i>Commissaire.</i>        |
| DAWSON, Philip,        | <i>id.</i>                 |
| DEL PROPOSTO, Césidio, | <i>id.</i>                 |
| JULIUS, Charles,       | <i>id.</i>                 |
| PIÉRARD, Émile,        | <i>id.</i>                 |
| X.....                 | <i>Secrétaire-adjoint.</i> |
| X.....                 | <i>id.</i>                 |

## ANCIENS PRÉSIDENTS :

|                     |             |
|---------------------|-------------|
| MM. ZUNINI, Luigi,  | (1887-1889) |
| LIBERT, Joseph,     | (1889-1890) |
| DE WEYDLICH, Titus, | (1890-1891) |
| DEMAN, Léon,        | (1891-1892) |
| DE BAST, Omer,      | (1892-1893) |
| FRANCKEN, Edmond,   | (1893-1894) |
| DE BAST, Omer,      | (1894-1895) |

## MEMBRES EFFECTIFS :

MM. VAN AARDENNE, Jean (électricien 1894), ingénieur à l'Union Elektrizitäts Gesellschaft, Colonnaden, 53, IV, Hambourg (Allemagne).

DE AGUIAR D'ANDRADA, Edouard (électricien 1894), ingénieur à la Général Electric Company, Post office, Schenectady, near Albany, New-York, U. S. A.

ANDRINGA, Alexandre (électricien 1891), capitaine commandant d'artillerie, boulevard de la Constitution, 23, Liège.

ARENDT, Charles (mines 1883, électricien 1884), ingénieur, chaussée de Charleroi, 62, Bruxelles.

ASTFALCK, Alfred (électricien 1886), Ober-ingénieur der Elektrizitäts Actien Gesellschaft vorm W. Lahmeyer et Cie, (de Francfort a/M.), Friedrich-Wilhemstrasse, 4, Duisburg a/Rh. (Allemagne).

BAIVY, Edouard (électricien 1892), ingénieur des Télégraphes, rue Lesbroussart, 75, Bruxelles.

BARBERIS, Jean (électricien 1885), directeur de l'atelier des lampes Cruto à Alpignano, Turin (Italie).

BARDINI, Philippe, (civil 1890, électricien 1895), ingénieur civil, rue des Clarisses, 32, Liège.

BASQUIN, Jules (électricien 1895), rue de la Fère, 209, Saint-Quentin (France).

BAYET, Maurice (électricien 1888), ingénieur à la Compagnie industrielle d'accumulateurs électriques, rue Hors-Chateau 110, Liège

BÈDE, Philippe (électricien 1890), ingénieur der firma «Eggersmann et Lang», Aix-la-Chapelle (Allemagne).

BERTEMATI, Carlos (mines 1884, électricien 1886), directeur des mines de Cuatro Amigos, rue Larga, 59, Jerez de la Frontera (Espagne).

BERTOLINI, Jules (électricien 1889), lieutenant de la marine royale italienne, SS. Apostoli, sul canal Grande, Venise (Italie).

BESOSTRI, Pietro (civil 1894, électricien 1895), ingénieur civil, Brera, 21, Milan (Italie).

BISKE, Michel (électricien 1895), licencié en sciences physiques et mathématiques.

BLANDOT, Charles (mines 1889, électricien 1890), ingénieur, rue Gallait, 26, Bruxelles.

VON BOSCHAN, Arthur (ponts et chaussées 1881), ingénieur au «Kaiser Ferdinand Nordbahn», Burgring, 1, Vienne (Autriche).

BOURQUIN, Jules (électricien 1890), ingénieur, secrétaire de la Direction des usines à gaz, rue de Condé, 5, Bordeaux (France).

BOUVA, Jean (électricien 1894), ingénieur, rue de l'Est, 29, Ostende.

BROAD, Colin (électricien 1890), Engenheiro, chefe de seccio da commissão de estudos da estrada de ferro Catalaô à Cuyaba, Compagnie Mogyana Campinas (Brésil), via Lisbonne.

*Liste des membres.*

---

BRONNE, Georges (électricien 1893), ingénieur, rue Darchis, 40, Liège.

BRONNE, Louis (électricien 1894), rue Darchis, 40, Liège.

BRUNHES, Louis (électricien 1893), assistant à l'Institut Montefiore, boulevard d'Avroy, 12, Liège.

BUNNIK, Herman (officier de marine e. r. électricien 1895), Van Eeghenstraat, 31, Amsterdam (Hollande).

BUSSET, Paul (électricien 1894), ingénieur, à l'Aktien Gesellschaft Ludw. Loewe (Abtheilung für Elektrotechnik) Gotzkowskystrasse, 9, Berlin (Allemagne).

CAHEN, Gustave (électricien 1892), ingénieur, rue de Provence, 51, Paris (France).

CALMEAU, Léon (électricien 1894), ingénieur à Hologne-aux-Pierres.

CALVÉ, Fernand (A. et M. 1892, électricien 1893), rue Boissière, 31, Paris (France).

CAMMÉO, A. (ponts et chaussées 1885), ingénieur et industriel, via Solférino, 7, Milan (Italie).

CAVALLI D'OLIVOLA, comte Camillo (électricien 1884), via di Po, 30, Turin (Italie).

CECCACI, Pietro (électricien 1894), via Palestro, 18, Ancône (Italie).

CENTURIONE, Carlo (électricien 1886), chef de la station centrale d'électricité, Mlaka-Fiume (Hongrie).

CHANTRAINE, Alphonse (mines 1889, électricien 1888), ingénieur, chef de service de l'aciérie de la Providence aux usines de Hautmont (France-Nord).

CHAUDOIR, Maurice (électricien 1890), docteur en sciences physiques et mathématiques, directeur de l'Institut polytechnique de Liège préparatoire aux études supérieures, rue de Sclessin, 10, Liège.

CHEMIN-PALMA, Giovanni (électricien 1895), Bassano Veneto (Italie).

CIGOGNA MOZZONI, comte Charles (électricien 1893), ingénieur bau bureau der Union Elektrizitäts Gesellschaft (Thomson-Houston), Neuerwall, 46, Hambourg (Allemagne).

DE CLAUSONNE, Alfred (mines 1889), ingénieur aux établissements Sautter Lemonnier, boulevard Malesherbes, 58, Paris (France),

CLERICI, Carlo (électricien 1894), ingénieur, via Manforte, 48, Milan (Italie).

CLOSE, Ernest (mines 1884, électricien 1885), ingénieur des Télégraphes, rue Vondel, 50, Bruxelles,

COLARD, Oscar (électricien 1892), ingénieur des Télégraphes, rue de l'Écuyer, 39, Bruxelles.

CONOR, Auguste (mécanicien 1894, électricien 1895), ingénieur civil, rue de la Duchée, 83, Cherbourg (France).

COOPS-BUSGERS, Édouard (électricien 1895), rue de Harlez, 30, Liège.

COSTA, Emile (électricien 1885), ingénieur à la Société Anglo-Romana per l'illuminazione elettrica, piazza Poli, 14, Rome (Italie).

COUARD, Léon (arts 1893, électricien 1895), avenue Ledru-Rollin, 50, Paris (France).

CROMBÉ, Georges (ingénieur civil 1893, électricien 1894), ingénieur à la société générale des chemins de fer économiques, chaussée de Vleurgat, 16, Ixelles-Bruxelles.

CRUCIANI, Joseph (électricien 1889), ingénieur à la Société Électricité et Hydraulique, rue de Montigny, 67, Charleroi.

CUCCURULLO, Gennaro (électricien 1895), ingénieur à



la Compagnie Internationale d'Électricité, rue Saint-Pierre, 11, Liège.

DALLEMAGNE, Georges (mines 1894, électricien 1895),

DARDENNE, Henri (mécanicien 1892, électricien 1893), ingénieur des Télégraphes, rue St-Josse, 3, Bruxelles.

DAWSON, Philip (ponts et chaussées 1890, électricien 1891), Victoria Street, 39, Westminster London S. W. (Grande-Bretagne).

DE BAST, Omer (électricien 1890), répétiteur à l'Institut Montefiore, rue César Franck, 16, Liège.

DECROËS Joseph (électricien 1894), ingénieur, boulevard de l'Industrie, 106, Mons.

DELEPAULLE, Hubert (électricien 1894), ingénieur à la Compagnie continentale du gaz, rue Marcq, 16, Bruxelles.

DELESCOU, Victor (électricien 1892), professeur à l'école des Télégraphes, Strada Teilor, Bucharest (Roumanie).

DEL PROPOSTO, Césidio (électricien 1895), lieutenant au 3<sup>e</sup> régiment du génie spécialiste à Rome (Italie).

DELTENRE, Louis (P. et C. 1891, électricien 1895), ingénieur à la société des Railways économiques Liège-Seraing et extensions, rue Nagelmackers, Liège.

DEMANY, Ernest (électricien 1893), ingénieur des Télégraphes, Hôtel des Postes, Bruxelles.

DEMANY, Léon, (A. et M. 1878, électricien 1885), ingénieur de the Antwerp Téléphone and Electrical Works, avenue Quantin Massys, 36, Anvers.

DEMARET, Léon (mines 1884, électricien 1885), ingénieur au corps des mines, place de Flandre, 17, Mons.

DERCLAYE, Oscar (électricien 1893), ingénieur au corps des mines, directeur des travaux des charbonnages Oignies et Aiseau, Aiseau.

DETHIOUX, Joseph (électricien 1893), ingénieur des Télégraphes, rue du Nord, 42, Bruxelles.

DEWANDRE, Émile (électricien 1893), ingénieur des mines, boulevard Audent, Charleroi.

DIERMAN, William (électricien 1888), ingénieur-conseil, rue de la Sablonnière, 27, Bruxelles.

DISCRY, Émile (mines 1889, électricien 1890), ingénieur au corps des mines, Marcinelle-Villette.

DONEDDU, Louis (électricien 1892), ingénieur à la Compagnie internationale d'Électricité, Herstal.

DUBOIS, Alfred (électricien 1894), ingénieur à l'Union Elektricitäts Gesellschaft, rue Wiertz, 14, Ixelles-Bruxelles.

DURAND, José (électricien 1894), capitaine de frégate, professeur d'électricité à l'école navale militaire de Buénos-Aires. Palermo. (République Argentine).

DUTILLIEUX, Maurice (A. et M., génie civil et mines 1879, électricien 1894), ingénieur aux chemins de fer économiques du Nord, chaussée de Wemmel, 195, Jette-Saint-Pierre.

DE ERCORECA, Rufino (mécanicien 1888, électricien 1890), chez M. Armando Legorgen, Bilbao (Espagne).

ERENS, Fritz (électricien 1894), ingénieur à l'Elektricitäts Actien Gesellschaft vorm W. Lahmeyer et C<sup>ie</sup>, Höchterstrasse, 45, Francfort s/M. (Allemagne).

FALKENBERG, Andréas (mécanicien 1893, électricien 1895), ingénieur à l'union Elektricitäts Gesellschaft, Neuerwall, 46, Hambourg (Allemagne).

FARMAN, Dick, (électricien 1891), rue Lafayette, 53, Paris (France).

FERRAND, Alphonse (électricien 1894), ingénieur attaché

au service du matériel et de la traction à la Compagnie P. L. M., rue de Lyon, 7, Paris (France).

FIRKET, Victor (électricien 1893), ingénieur au corps des mines, rue Dartois, 28, Liège.

FRANCKEN, Edmond (mines 1878, électricien 1891), ingénieur aux chemins de fer de l'État, quai de Fragnée, 19, Liège.

FRENAY, Henri (mines 1883, électricien 1884), ingénieur des Télégraphes, rue Dailly, 64, Bruxelles.

GABRIELLI WIESEMAN, comte Charles (électricien 1892), lieutenant de vaisseau de la marine royale italienne, cercle de la marine. Spezzia (Italie).

GARNIER, Victor (électricien 1886), ingénieur, Pinerolo (Italie).

GÉRARD, Émile (mines 1883, électricien 1884), constructeur d'appareils de physique et de précision, quai d'Amercœur, 20, Liège.

GERLERI, César (électricien 1884), ingénieur à Pinerolo per Osasco, province de Turin (Italie).

GILLON, Paul (électricien 1893), ingénieur des mines, avenue Rogier, 27, Liège.

DE GNÖINSKI, Xavier (électricien 1895), ingénieur à la maison Siemens et Halske, Englische strasse, 31, Charlottenburg bei Berlin (Allemagne).

GOETZEN, Boleslas (électricien 1894), ingénieur

DE GOURGHENBEKOFF, Abel (électricien 1891), rue Micaïłowska, 101, Tiflis (Russie).

GRITTERS, Hendrik (électricien 1891), ingénieur de la Maison Groeneveld van der Poll & Co, bureau électrotechnique d'Amsterdam, Vijzelstraat, 57, Amsterdam (Hollande).

GROSSMANN, Léon (mines 1894, électricien 1895), ingénieur, boulevard Piercot, 1, Liège.

GROTTENDIECK, Paul (électricien 1890, mécanicien 1891), ingénieur à la Société Électricité et Hydraulique, boulevard Audent, 46, Charleroi.

VON HAHN, Karel (électricien 1893), docteur en philosophie, Washington Avenue, 72, Schenectady near Albany, New-York, U. S. A.

HALKADER, Ladislav (électricien 1895),

HENRARD, Georges (électricien 1889), ingénieur chef de service d'exploitation à la Société lyonnaise des Forces motrices du Rhône, rue de la République, 37, Lyon (France).

HERDT, Louis (électricien 1894), assistant à l'Université. M<sup>c</sup> Gill, avenue Laval, 58, Montréal (Canada).

D'HOOP, Ernest (électricien 1893), ingénieur à la Compagnie des tramways bruxellois, rue de Hollande, 48, Bruxelles.

JANSSEN, Alfred (mines 1889, électricien 1890), ingénieur à la Compagnie internationale d'Électricité, rue de la Province, Liège.

JAVAL, Jean (électricien 1894), ancien élève de l'École polytechnique, rue de Grenelle, 52, Paris (France).

JONA, Emmanuel (électricien 1885), ingénieur à la manufacture de câbles Pirelli, Milan (Italie).

DE JONGE, Willem (électricien 1891), ingénieur-mécanicien, Scheveningsche Weg, La Haye (Hollande).

JULIUS, Charles-Henri, (électricien 1894), ingénieur à la Société Électricité et Hydraulique, avenue des Villas, 290<sup>e</sup>, Charleroi-Ville.

KEIFFENHEIM, Hugo (électricien 1891), Fernwood road, Newcastle on Tyne (Angleterre).

KOENIGSBERG, Isidore (électricien 1895), rue Cans, 13, Bruxelles.

LAMBERT, Alphonse (électricien 1893), ingénieur honoraire des ponts et chaussées, boulevard Arago, 110, Paris (France).

LARMOYER, Georges (électricien 1888), directeur de la Société anonyme pour la construction d'appareils de sécurité pour voies ferrées, quai de Fragnée, 22, Liège.

LECHAT, Carl (mines 1894, électricien 1895), ingénieur, avenue d'Avroy, 117, Liège.

LECHAT, Paul (mines 1894, électricien 1895), ingénieur, avenue d'Avroy, 57, Liège.

LEMAIRE, Léon (mines 1887, électricien 1888), ingénieur à la maison Ghislain, rue Paradis, 82, Liège.

DE LEMOS, Basto (électricien 1890) directeur-général, des Postes et Télégraphes des États-Unis du Brésil, Rio-de-Janeiro (Brésil).

L'HOEST, Gustave (mines 1874, électricien 1888), ingénieur principal aux Chemins de fer de l'État, quai Mativa, 22, Liège.

LIBERT, Joseph (mines 1874, électricien 1884), ingénieur principal au corps des Mines, rue Mosselman, 21, Liège.

LOEWENSTEIN, Alfred (mines 1891, électricien 1893,) ingénieur, rue de Courcelles, 45, Paris (France).

LUDERGNANI, Ferruccio (électricien 1889), ingénieur à la Société Électricité et Hydraulique, boulevard Audent, 39, Charleroi.

MAGENTIES, Louis (électricien 1894), ingénieur, rue de l'Arbre Sec, 13, Lyon (France).

MALASPINA, marquis Torquato (civil 1894, électricien 1895), via Macini, 10, Turin (Italie).

MANARA, Manarino (électricien 1889), ingénieur, Studio tecnico, piazza Castello, 7, Milan (Italie).

MANZI, Julio (électricien 1892), ingénieur, Civita Vecchia (Italie).

MARCHETTI, Conrad (électricien 1892), lieutenant au 26<sup>e</sup> régiment d'artillerie, Venise (Italie).

MARKOVITCH, Stefan, docteur en sciences physiques de Vienne, professeur à la Faculté technique, Markova uliza, 5, Belgrade (Serbie).

MASSON, Émile (mines 1885, électricien 1885), ingénieur honoraire au corps des mines, directeur du matériel des charbonnages de Marihaye, Flémalle-Grande.

DE MELLO, Benjamin (électricien 1890), lieutenant de vaisseau de la marine des États-Unis du Brésil, Club naval, Rio-de-Janeiro (Brésil.).

MÉLOTTE, Félix (mines 1887, électricien 1888), ingénieur, directeur technique des ateliers Jaspar, rue Jonfosse, 2-20, Liège.

MICHAUX, Camille (électricien 1894), ingénieur à la société Tudor (accumulateurs électriques), Lille Thumesnil (France).

MIHAIL, Stefan (électricien 1895),

MINCULESCU, Constantin, (électricien 1895),

MINSIER, Camille (mines 1873, électricien 1885), ingénieur en chef, directeur des mines, rue Baslé, 20, Charleroi.

MORELLI, Hector (électricien 1886), ingénieur chez MM. Bellani-Fratelli (Thomson-Houston International Electric Co), via Cibrario, 18, Turin (Italie).

NAGELMACKERS, Gaston (A & M. 1891, électricien 1892). ingénieur aux ateliers de Sclessin, Ougrée.

NAGTGLAS-VERSTEEG, Cornelis, Dirk (électricien 1891),



ingénieur, directeur technique de l'agence électro-technique de la Société anonyme Electricité et Hydraulique de Charleroi, Heerengracht, 115, Amsterdam (Hollande).

NAVARRO-VIOLA, Jorge (électricien 1893), ingénieur à la ville de Buenos-Aires, Maipée, 40 (République Argentine).

NICODÈME, Paul (mécanicien 1889, électricien 1895), Lunéville, Meurthe et Moselle (France).

NIEUWLAND, Pierre (électricien 1894), ingénieur, rue de l'Hôpital, Anvers.

NOBILI, Dino (électricien 1894), piazza S. M., Novella, 25, Florence (Italie).

NOÉ, Francesco (électricien 1892), ingénieur mécanicien, Casa Dassi, Pavie (Italie).

NOIRFALISE, Léon (A. et M. 1891, électricien 1892), ingénieur, Mont-Saint-Martin, 4, Liège.

NOLST-TRENITÉ, Samuel (officier de marine, électricien 1895), Parklaan, pension Minerva, Haarlem (Hollande).

NORSTRAND. Albert (mécanicien 1894, électricien 1895), Toswinckelsgade, 27, Bergen (Norvège).

NOWINSKI, Joseph, ingénieur à l'usine électrique (ingénieur I. Margulis), rue Langeron, Odessa (Russie).

ORBAN, Charles (mécanicien 1889, électricien 1890), ingénieur à la Compagnie d'éclairage électrique du secteur des Champs-Élysées, avenue de Wagram, 165, Paris (France).

PEDRIALI, Guiseppe (électricien 1892), ingénieur à la société anonyme des Tramways bruxellois, rue Linderman, 11, Bruxelles.

PEREGRINI, Jean (civil 1894, électricien 1895), via Farina, Ancône (Italie).

PERUSSET, Gustave (mécanicien 1894, électricien 1895), villa Laurence, Lausanne (Suisse).

PESCETTO, Frédéric (électricien 1887), major du génie militaire, professeur à l'Ecole d'application d'artillerie et du génie, Turin (Italie).

PHILIPPE, Georges (électricien 1894), attaché à l'exploitation de la Compagnie du chemin de fer du Nord, rue la Limite, 1, Liège.

PICARD, Georges (électricien 1889), directeur technique de la Société anonyme des papeteries (ancienne maison Olin et fils), Virginal.

PICAZO, Léopold (électricien 1890), ingénieur rue San Raphaël, 66, San Fernando (Espagne).

PIERARD, Emile (mines 1886, électricien 1887), ingénieur des Télégraphes, rue des Rentiers, 92, Etterbeek-Bruxelles.

PLANAS Y ESCUBOS, Juan (électricien 1894), Ronda Universidad, 22, Barcelone (Espagne).

POENARU, Dimitri (électricien 1894), ingénieur au Corps technique Roumain, rue Sainte-Croix, 14, Liège.

QUINAUX, Ernest, major d'artillerie, boulevard de la Sauvenière, 66, Liège.

RANSY, Auguste (mines 1879, électricien 1884), ingénieur, rue du Parc, 57, Liège.

RAZU, Aristide, (officier du génie, électricien 1895)

RENARD, Lucien (électricien 1895), chez M. Fabius-Henrion à Nancy (France).

REVEL, Francisco (électricien 1894), capitaine d'artillerie, Fabbrica d'armi de guerra, Turin (Italie).

ROBERT, Léon (mécanicien 1894, électricien 1895), rue Vinàve-d'Ile, 13, Liège.

DE ROCHEMONT, Charles (officier du génie électricien 1895), Gionneken-Bréda (Hollande).

ROUSEN, Alfred (mines 1885, électricien 1886), ingénieur des Télégraphes, Bruxelles.

ROUSSEAU, Auguste (électricien 1895), officier du génie, rue des Prébendiers, 20, Liège.

RUEMPOL, Everhard (électricien 1893), capitaine du génie à Malang, Ile de Java (Indes néerlandaises).

RUTTEN, Arthur (électricien 1892), ingénieur

DE RYCKERE, Georges (ponts et chaussées 1890, électricien 1891), boulevard Frère-Orban, 18. Gand.

SANTARELLI, Georges (ponts et chaussées 1887, électricien 1888), constructeur d'appareils de précision, via Giotto, 2<sup>bis</sup>, Florence (Italie).

SAROLÉA, Jean, (électricien 1894), ingénieur à la Compagnie Internationale d'Électricité, rue Jonruelle, 32, Liège.

SCANDIANI, Angelo (civil 1894, électricien 1895), San-Felice, Venise (Italie).

SCARAMANGA, Pantalémon (mécanicien 1890, électricien 1891), ingénieur à la Vieille-Montagne, Chênée.

SCHEFFER, Jean (électricien 1894) ingénieur-mécanicien Diergaardelaan, 25, Rotterdam (Hollande).

SCHIFFERS, Henri (mécanicien 1894, électricien 1895), rue de Bruxelles, 67, Verviers.

SCHREIBMANN, Frédéric (électricien 1895), ingénieur à la Compagnie Internationale d'Électricité, Liège.

SÉE, Armand (électricien 1892), ingénieur de la maison E. et P. Sée (constructions industrielles, éclairage, chauffage, ventilation, humectation, etc.), rue Nicolas Leblanc, 51, Lille (France).

SEGRE, Vito (électricien 1886), ingénieur, rue Massena, 3, Turin (Italie).

SEMENZA, Guido (électricien 1894), ingénieur, via Fatebenefratelli, 21, Milan (Italie).

SERRA DE CASSANO, Louis (électricien 1893), ingénieur de la General Electric Company, Post office, Schenectady, near Albany, New-York, U. S. A.

SLAWINSKI, Alexandre (chimiste 1894, électricien 1895), ingénieur à l'Akkumulatoren-fabrik, Hagen-in-Westfalen (Allemagne).

STEELS, Oscar (P. & C. 1893, électricien 1894), ingénieur des Télégraphes, Destelbergen-lez-Gand.

TASTÉ, Albert (mines 1889, électricien 1892), ingénieur à Verviers.

VAN DER GOOT, Fiepko (électricien 1891), ingénieur aux Chemins de fer de l'État néerlandais, Donkere Gaard, 6, Utrecht (Hollande).

VAN KESTEREN, Charles (mines 1894, électricien 1895), boulevard d'Anderlecht, 50, Bruxelles.

VAN PREHN, Wilhem (électricien 1892), ingénieur, Herderinnestraat, 9A, La Haye (Hollande).

VAN VLOTEN, Paul (mines 1884, électricien 1885), ingénieur, rue de la Loi, 77, Bruxelles.

VENEZIAN, Émile (industriel 1886, électricien 1895), au ministère de l'industrie et du commerce, via Stanperia, Rome (Italie).

VERDAM, Jean (officier de marine, électricien 1895), Fransch Holstraet, 11, Harlem (Hollande).

VERDELEANU, Léon (électricien 1893), ingénieur-mécanicien au service des chemins de fer roumains. gare Vaslui (Roumanie).

VER EECKE, Abel (électricien 1894), lieutenant du génie, compagnie des télégraphistes de place et artificiers, Anvers.

VITALE, Maurice (électricien 1894), ingénieur civil, Biella (Italie).

VODOPIANOFF, Jean (mécanicien 1890, électricien 1895),

VOÏNAROWSKI, Paul (électricien 1895), ingénieur des Télégraphes, professeur à l'Institut électrotechnique de Saint-Pétersbourg (Russie).

DU WELZ, Maurice (mines 1887, électricien 1889), directeur du service technique de la Société anonyme Électricité et Hydraulique, La Villette, 315, Charleroi.

WERY, Émile (électricien 1894), ingénieur aux charbonnages d'Abhooz et Bonne-Foi-Hareng, Herstal.

DE WEYDLICH, Titus (Ponts et chaussées 1885, électricien 1888), à Holubecze (station du Chemin de fer sud-ouest de Russie : Kryjapol).

WINSLOW, George-Herbert (électricien 1888), consulting-electrical Engineer, Lewis Building, 6 th, avenue et Smithfieldst. Pittsburg, Penna, U. S. A.

WOYCIECHOWSKI, Justinien (électricien 1895),

ZELENAY, Constantin (électricien 1895), ingénieur à la société pour l'exploitation de l'énergie électrique, perspective de Newski, 74, Saint-Petersbourg (Russie).

ZUNINI, Luigi (électricien 1884), professeur à l'Institut technique supérieur, piazza Duomo, 25, Milan (Italie).

#### MEMBRES ASSOCIÉS :

MM. BOULVIN, Roch (mines 1881), ingénieur des Télégraphes, rue de la Croix de Fer, 35, Bruxelles.

CABELLA, Bartolomeo, directeur de la Tecnomasio, Milan (Italie).

DE CAZENAVE, ingénieur, administrateur-délégué de the Antwerp Telephone and Electrical Works, boulevard Léopold, 13, Anvers.

CLOEREN, Henri, chef du service des essais aux usines de bronze phosphoreux de M. G. Montefiore-Levi, rue de Douvres, 15, Anderlecht-Bruxelles.

DULAIT, Julien (mines 1878), administrateur-gérant de la Société Électricité et Hydraulique, rue Prunieu, 1, Charleroi.

HEN, Léon (ex-officier du génie), fabricant de câbles électriques, rue de la Concorde, 33, Bruxelles.

LEBRUN, B., Ateliers de construction de Nimy-Mons.

MACQUET, Auguste (mines 1876), ingénieur au Corps des mines, directeur de l'École des mines, boulevard Dolez, 22, Mons.

MALENGRET, Achille, ingénieur, rue du Gouvernement, 1, Mons.

MANNE, Jacques, directeur de la Fabrique de bronze phosphoreux, rue du Bronze, 8, Anderlecht-Bruxelles.

PASQUALINI, Louis, professeur, ingénieur électricien, via Colombo, 5, Spezia (Italie).

PIEPER, Henri (fils), administrateur délégué de la Compagnie internationale d'Électricité, rue des Bayards, Liège.

PROCTOR FARADAY, C., ingénieur électricien, chargé de la fabrication des instruments et montures électriques à la Edison Swan United Electric Light Co L<sup>d</sup>, 2, Bedford Villes, Southbury road, Enfield-Middlesex (Angleterre).

VAN DEN KERCKHOVE, Armand, ingénieur, rue de la Loi, Bruxelles.

WEILER, Max, ingénieur à la Société Electricité et Hydraulique, Charleroi.

WEINMAN, industriel, rue Royale Sainte-Marie, 86, Bruxelles.

### MEMBRES TEMPORAIRES.

MM. ALFIERI, Joseph, lieutenant d'artillerie italienne, rue Saint-Gilles, 31, Liège.

BAERT, A.-Th., ingénieur civil, boulevard d'Avroy, 10, Liège.

BERTHOLET, Armand, candidat-ingénieur, place Saint-Jacques, 16, Liège..

BRIFFAUX, Philippe-Alphonse, capitaine du génie, rue Jonckeu, 34, Liège.

CAVALIERI, Filippo, ingénieur, boulevard de la Sauvenière, 182, Liège.

CHOULGUIN, Eugène, élève électricien, place Delcour, 5, Liège.

COMPYN, capitaine du génie, rue de la Liberté, 39, Liège.

DESSAIN, Joseph, élève-ingénieur, rue Trappé, 7, Liège.

EVERAERTS, Alphonse, ingénieur des mines, rue Fabry, 20, Liège.

EXELBIRTH, Grégoire, élève-électricien, rue des Célestines, 17, Liège.

FAÜEL, Marinus, officier du génie hollandais, boulevard de la Sauvenière, 20, Liège.

FAVART, Ernest, ingénieur constructeur, rue des Augustins, 51. Liège.

GUISTETTI, Umberto, officier du génie italien, rue Saint-Gilles, 31, Liège.



HOROWITZ, Samuel, licencié en sciences physiques et mathématiques, rue de Sluse, 7, Liège.

ILKOFF, Urdan, élève-ingénieur, rue Pied-du-Pont-des-Arches, 14, Liège.

LAHAYE, Gaspard, élève-électricien, rue des Vieillards, 68, Verviers.

MATHIEUX, Emile, officier du génie belge, rue des Clarisses, 34, Liège.

MAVROIDIS, Georges, élève-ingénieur, rue de la Commune, 28, Liège.

PIRARD, Léon, candidat-ingénieur, Souverain-Wandre, lez-Liège.

PRAPROTCHETOWITCH, L. officier d'artillerie serbe, rue Saint-Gilles, 31, Liège.

RENSONNET, Alfred, élève-électricien, rue de la Station, 15, Verviers.

RHONÉ, Jean, ingénieur, avenue d'Avroy, 70, Liège.

RIZZO, Guguelmo, ingénieur-mécanicien, boulevard Saucy, 16, Liège.

SARRAT, Fr. ingénieur mécanicien, rue Jonckeu, 20, Liège.

SOMACH, H. ingénieur mécanicien, rue Jonckeu, 22, Liège.

TURCHI, Charles (P. et C.), ingénieur civil, boulevard Piercot, 5, Liège.

VAN DER HECHT, Léon-Henri, ingénieur civil, rue André Dumont, 17, Liège.

VAN DER WALLEN DE FERNIG, Guillaume, ingénieur, rue Villette, 19, Liège.

DE WAAL, Willem, officier de la marine hollandaise, rue Saint-Gilles, 31, Liège.

## SÉANCE DU 24 NOVEMBRE 1895.



*Présidence de M. Mélotte, président.*



Ont signé la liste de présence : MM. Alfieri, Bardini, Bayet, Biske, Brunhes, Cavalieri, Choulguin, Crombé, De Bast, Grottendieck, Horowitz, Larmoyer, L'Hoest, Mélotte, Praprotchetovitch, Roussseau, Sarrat, Steels, Wanson.

M. Eric Gerard, empêché, se fait excuser.

**M. le Président**, après avoir constaté que le procès-verbal de la dernière séance ne donne lieu à aucune observation, le déclare approuvé.

Il donne la parole au secrétaire général pour la lecture de son rapport annuel.

**M. L'Hoest**, *secrétaire général* :

Messieurs et chers Camarades,

Conformément à l'article 7 de nos Statuts, j'ai l'honneur de vous exposer la situation de notre Société à la date de ce jour et de vous rappeler succinctement les travaux accomplis pendant l'exercice écoulé.

Au 1<sup>er</sup> novembre, l'Association comptait 15 membres honoraires, 190 effectifs, 16 associés et 24 temporaires, soit en totalité 245 membres ; de nouvelles adhésions parmi les élèves actuels de l'Institut Montefiore, porteront le nombre de nos membres bien au-delà de 250 ; en exécution de l'article 5 des Statuts, vous aurez donc à élire un membre du Comité en extension ; on ne saurait mieux constater la prospérité de l'Association.

L'accroissement du nombre de nos camarades qui, chaque année se répandent dans l'industrie nantis du diplôme de l'Institut, leur dispersion dans les deux mondes, rendent particulièrement difficiles les rapports que nous avons souci de maintenir avec chacun d'eux. A cet égard, quelques unes de nos dispositions statutaires ne sont plus en situation, particulièrement celles qui ont trait au mode de votation. Assurer aux camarades les plus éloignés, comme à ceux qui résident au siège social, les plus grandes facilités d'action dans les travaux et les actes de la Société, c'est conserver à l'Association le caractère que ses fondateurs lui ont donné et que les Statuts ne doivent pas cesser de refléter.

D'autre part, certains textes réglementaires ont été trouvés inutilement précis, tel par exemple, celui qui nous a contraint à tenir notre Assemblée générale de cette année en coïncidence de date avec celle de notre aînée, l'Association des Ingénieurs sortis de l'École de Liège.

Des lacunes sont aussi à combler, notamment dans les dispositions réglementant les admissions.

Sans nul doute, et afin de ne pas répéter les formalités laborieuses d'une révision statutaire, vous voudrez traiter toutes ces questions dans leur ensemble, sans ajourner les moins urgentes.

En prévision de ces travaux, je n'ai pas cru pouvoir résigner la fonction de Secrétaire général que vous m'avez confiée naguère, dans un moment de réorganisation, et dans laquelle vous venez de me faire l'honneur de me confirmer pour la seconde fois.

Permettez, Messieurs, que dans ce rapport, je trouve une place pour vous remercier des témoignages de confiance que vous m'avez prodigués ; c'est dans ces témoignages que je trouve les encouragements à accomplir la lourde tâche qui m'est dévolue.

\*  
\* \* \*

Il me reste à passer rapidement en revue les travaux qui ont été produits à nos séances ou publiés en mémoires dans le courant de l'année sociale écoulée.

Répondant au vœu de tous, M. De Bast, président, a ouvert notre séance inaugurale par une étude analytique des alterno-moteurs polyphasés asynchrones. De nombreux et importants travaux ont été écrits sur la matière, mais les auteurs qui, généralement, n'ont visé qu'un objet spécial, ont donné à leurs études une tournure personnelle qui oblige le lecteur à une accommodation fastidieuse. Mettant à profit cette bibliographie spéciale, pénétrant des côtés laissés obscurs comme à dessein, notre président nous a exposé la théorie du fonctionnement des moteurs polyphasés asynchrones. Un ordre méthodique parfait, une grande clarté font la caractéristique de cette étude, entreprise par un auteur bien en possession de son sujet et habile à y initier ses auditeurs.

Dans une autre conférence, M. De Bast nous a signalé l'application possible de la méthode du voltmètre pour la mesure de la résistance d'isolement d'un réseau en activité, dans le cas d'une distribution à plusieurs fils.

On paraît se préoccuper beaucoup en ce moment des moteurs à gaz pauvres. Si les installations de gazogènes sont souvent trop encombrantes pour trouver place dans des usines où les moteurs sont nombreux et distants les uns des autres, l'objection tombe par l'application du transport électrique de l'énergie produite dans une machinerie centrale. La communication que M. Busset nous a faite sur les gaz pauvres et le nouveau gazogène Taylor a été accueillie pour cette cause avec tout l'intérêt d'un sujet qui nous touche.

La Société des carrières de M. Wincqz, à Soignies, a fait établir récemment un transport d'énergie par courants polyphasés. Deux de nos camarades, MM. Julius et Steels, nous ont bientôt donné la description complète et l'examen critique de cette installation, la première exécutée en Belgique.

Si le courant alternatif a trouvé, à cette occasion, des partisans heureux d'applaudir à l'initiative de la Société de Soignies, le courant continu n'est pas resté sans défenseur. Un débat complet s'est ouvert entre les conférenciers et notre camarade M. de Ryckere, et ce débat, qui ne paraît avoir converti aucun des contradicteurs, a eu ce résultat de mettre fortement en relief les points faibles et les côtés avantageux des systèmes débattus.

Réduire l'excitation d'une dynamo pour augmenter sa force électromotrice, paraîtra paradoxal à première vue. M. Mélotte nous a montré le cas spécial où ce singulier expédient est d'une application fort commode et toujours efficace.

C'est une bonne fortune de recevoir de nos camarades éloignés la description d'une chose neuve, la relation d'un fait qui nous arrivent avec un parfum exotique, ajoutant à l'intérêt propre de l'objet de la communication. Merci donc à MM. von Hahn et Navarro Viola, qui nous ont envoyé, des Etats-Unis, une note sur la locomotive électrique de Baltimore Railroad. Bien que le sujet ait vivement occupé les chroniqueurs de la presse électrotechnique, nous trouvons, encore aujourd'hui, des détails inédits dans la note de nos camarades.

Nous devons à M. Piérard plusieurs études spéciales sur le téléphone.

Dans une première, il décrit un système amortissant l'induction que les tramways électriques produisent dans

les réseaux téléphoniques à simple fil. C'est là, malheureusement, un sujet d'actualité qui sollicite la sagacité des électriciens.

Une seconde note du même auteur nous a donné la description de la table téléphonique utilisée en Belgique pour les circuits de bureaux centraux auxiliaires.

Enfin, M. Piérard, dans une troisième note, a complété le compte rendu d'expériences effectuées sur les transformateurs d'induction employés en téléphonie, en vue d'établir le rendement de ces appareils.

MM. Semenza et Nobili nous ont donné une monographie des moyens de réglage des électro-moteurs de tramways. C'est une étude bien ordonnée, très concise dans la forme et cependant d'une lecture agréable.

Les mêmes auteurs, associés à MM. Clerici et Vitale, nous ont fait le récit des difficultés qu'ils ont éprouvées dans l'essai d'un moteur polyphasé. Que cette manière d'exposer une méthode de mesure apporte d'enseignements et que de choses utiles ils n'auraient pas dites, si les auteurs s'étaient bornés, comme d'usage, à joindre aux résultats une courte description de l'appareillage utilisé !

On connaît les solutions proposées par M. Steinmetz pour l'alimentation des moteurs polyphasés par un système de distribution de courants alternatifs simples. M. Brunhes a énuméré dans notre dernier *Bulletin* les différents moyens préconisés à cette fin, en exposant les particularités de chacun d'eux.

Les belles installations de Bockenheim, exécutées par la firme ci-devant Lahmeyer et C<sup>ie</sup>, de Francfort, ont été décrites avec un soin minutieux, dans le fascicule d'Août, par M. Erens. Le mémoire de notre camarade sera lu avec un intérêt tout particulier, parce qu'il abonde en renseignements sur le régime des distributions de courants alternatifs.

Pour être complet, je citerai les notes suivantes que j'ai exposées dans le courant de l'année.

Notes sur l'installation de l'éclairage électrique, par courant continu, dans les gares et dépendances de chemin de fer.

L'accumulateur Waddel Entz ; les établissements et le tramway électrique de Hagen.

Sur les conditions de marche des moteurs alimentés par accumulateurs à groupements variés.

M. Del Proposto, secrétaire-adjoint, s'est chargé de la traduction d'une note sur la méthode de M. Pasqualini, pour la mesure des très faibles résistances.

\* \* \*

Telle est, Messieurs, l'énumération de nos travaux de l'exercice écoulé. Eux seuls ont suffi à alimenter le *Bulletin* cette année, pour la rédaction duquel aucun emprunt n'a été fait à d'autres publications. Ce n'est pas à dire que nous renoncions à extraire des revues spéciales les articles qui seraient d'un intérêt particulier pour nos lecteurs ; mais il nous plaît de constater que cette année, par nos seuls travaux originaux, notre *Bulletin* a pu subsister sans perdre de son importance. (*Applaudissements.*)

**M. Grottendieck**, *trésorier*, donne ensuite lecture du bilan ci-après :

| RECETTES.                                               | DÉPENSES.                                                                   |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| a). En caisse le 25 novembre 1894. . . . . fr. 2 236,14 | a). <i>Bulletin</i> , impressions, planches, etc. . . fr. 2 031,28          |
| b). Cotisations arriérées perçues . . » 330,00          | Ports . . . . » 124,96                                                      |
| c). Cotisations reçues 1894-1895 . . » 3 230,00         | Droits d'auteur. » 410,29                                                   |
| d). Cotisations anticipatives 1895-96 . . » 80,00       | b). <i>Séances</i> , gratification de service . . » 75,00                   |
| e). Abonnements au <i>Bulletin</i> . . . . » 360,00     | Convocations et ports. . . . » 90,80                                        |
| f). Vente du <i>Bulletin</i> » 33,40                    | c). <i>Secrétariat</i> , indemnité d'employé. . . » 300,00                  |
| g). Tirés à part supplémentaires . . » 66,25            | Papeterie et affranchissements. » 216,75                                    |
| h). Dons. . . . . » 195,50                              | d). <i>Trésorerie</i> , frais de correspondance et de recouvrements » 81,10 |
| i). Recettes diverses » 5,30                            | <i>Balance</i> . En caisse le 24 novembre 1895 :                            |
| j). Intérêts de la Caisse d'épargne. » 8,33             | a). Livret de la caisse » 3 114,74                                          |
|                                                         | b). Réserve pour débours . . . . . » 100,00                                 |
| Total. fr. 6 544,92                                     | Total. fr. 6 544,92                                                         |

**M. Mélotte**, *président*, demande si des observations sont présentées au sujet du bilan. Aucun membre ne réclamant la parole, il déclare les comptes approuvés.

Après avoir cédé la présidence à M. De Bast, vice-président, **M. Mélotte** prononce l'adresse inaugurale suivante :

Chers Camarades,

En m'appelant à présider vos travaux pendant la session qui s'ouvre aujourd'hui, vous m'avez fait un honneur que je ne crois pas avoir mérité, mais que j'accepte comme



un témoignage de votre sympathie, témoignage qui m'est bien cher, et dont je vous remercie de tout cœur. Je tâcherai de mériter la confiance que vous avez mise en moi et de suivre les traces de mes devanciers. Ceux-ci ont grandement contribué à la prospérité de notre Association, et notre président sortant, M. de Bast, me laisse un bel exemple à imiter.

Je suis certain d'être ici votre interprète en lui adressant nos remerciements les plus sincères pour la façon distinguée dont il a dirigé nos débats.

Notre dévoué secrétaire-général, M. L'Hoest, a droit également à toute notre gratitude. C'est lui la cheville ouvrière de notre Association. C'est à lui qu'incombent les travaux souvent fastidieux de la rédaction de notre Bulletin. Depuis la fondation de notre Association, il a rempli ce poste avec un zèle qui ne s'est jamais démenti, et si notre Bulletin a conquis une place honorable parmi les publications scientifiques, c'est à lui que nous le devons. Il a bien voulu accepter, pour un nouveau terme de trois ans, le titre de secrétaire-général, et je vous propose de lui en exprimer notre reconnaissance.

A notre grand regret, M. Grottendieck a désiré ne plus s'occuper de la gestion de nos finances ; nous perdons en lui un trésorier dont tout le monde a pu apprécier le tact et le dévouement. Je vous convie également à lui voter des remerciements sincères.

\* \* \*

Parmi la grande variété des types de dynamos et de moteurs électriques que ces dernières années ont vu naître, les uns, le petit nombre, sont le résultat de longues études et de perfectionnements successifs, mais les autres n'ont souvent de raison d'être que par la fan-

taisie des constructeurs ou par leur désir de faire autre chose que ce qui a été déjà fait.

Il serait intéressant de rechercher quelles sont les formes les plus rationnelles, et quelles sont les règles à suivre dans la conception, la combinaison et l'exécution des machines dynamo-électriques.

Le problème, dans toute sa généralité, est beaucoup trop vaste et trop compliqué pour que j'ose seulement tenter de le résoudre. Ce serait, en effet, la théorie complète des machines dynamo-électriques et la discussion approfondie de tous les éléments qui s'y rapportent.

Mais la question devient plus accessible si on la restreint en se posant certaines données, et l'on peut alors rechercher quelle serait la machine qui répondrait le mieux à des conditions données.

Ces conditions sont d'ailleurs extrêmement variables suivant le but auquel doivent répondre les machines.

Je n'ai pas l'intention d'examiner ici tous les cas qui peuvent se présenter en pratique. Je pense qu'il est plus utile d'étudier assez en détail un cas particulier, pour montrer la façon dont on doit analyser un problème.

Après quoi, m'attachant à un point unique de la construction des dynamos, je chercherai à élucider les phénomènes qui s'y rapportent.

Dans ces derniers temps l'usage de l'électricité comme agent de transport de force s'est généralisé, et à chaque instant nous voyons se développer de nouvelles applications.

En général, les dynamos sont employées comme machines à lumière, comme génératrices dans les transports, ou remplissent simultanément les deux buts; quelques-unes sont employées pour la galvanoplastie et l'électrolyse.

Pour les machines à lumière le cas le plus compliqué est celui des stations centrales alimentant l'éclairage public et privé.

Nous allons examiner les conditions de leur fonctionnement.

Une station comporte généralement plusieurs dynamos que l'on met en marche ou qu'on arrête successivement suivant la demande du réseau. On adopte souvent, pour les pertes de charge dans les feeders et câbles de distribution, un chiffre variant de 15 à 30 % en pleine charge. Ainsi, si nous supposons une distribution à trois fils, à 220 volts, la tension des dynamos devra pouvoir varier de 220 à 270 ou 290 volts, suivant le pourcentage de perte adopté.

Il s'ensuit que, lorsqu'on n'a sur un grand réseau qu'une faible consommation représentant la pleine charge d'une seule unité, celle-ci travaillera à une tension assez basse, soit par exemple 225 ou 230 volts. Au contraire, lors de la forte demande, les machines travailleront à pleine charge et au voltage maximum.

Or, le rendement des dynamos ne sera pas le même dans les deux cas, et voici pourquoi : Les pertes dues aux courants de Foucault et à l'hystérésis seront, à haut voltage, beaucoup plus fortes qu'à bas voltage, pour la même vitesse de la machine, à cause de l'augmentation de l'induction. Il en est de même de l'excitation.

Par contre, la perte par effet Joule dans les conducteurs sera réduite, du fait de ce que le courant débité sera plus faible, pour une même puissance totale.

Cependant, la compensation n'est pas exacte, et d'après l'importance respective de chacune des pertes, le rendement sera plus ou moins bon suivant le voltage.

Il s'agira donc, en calculant la dynamo, de chercher à lui donner son rendement maximum à l'allure à laquelle

elle doit marcher le plus souvent. Nous avons maintenant à rechercher quelle est cette allure moyenne.

Nous savons que dans un réseau d'éclairage, la consommation de lumière est maximum peu après la nuit tombée et ce maximum ne dure guère qu'une heure ou deux, tandis que la durée de l'éclairage proprement dit, s'étend en moyenne de 6 heures à minuit. Entre ces extrêmes, la variation est à peu près régulière.

Le service se fait de la façon suivante : Pendant la période croissante de la demande, dès que la première machine est arrivée aux environs de la pleine charge, on lui en adjoint une autre. Les deux machines accouplées fonctionnent ainsi à un régime qui va de la demi-charge, au moment du couplage, jusqu'à la pleine charge, moment où l'on adjoint une troisième machine.

Les trois dynamos accouplées fonctionneront alors des deux tiers à la pleine charge et ainsi de suite. Les mêmes phases se reproduiront, en sens inverse, à la décroissance de la demande.

Il faut remarquer, cependant, que l'on fait les couplages avant que les machines soient arrivées à leur pleine charge, par raison de sécurité. Dans les stations où il n'y a pas d'accumulateurs, on doit toujours avoir une machine de réserve. Or, dans ces conditions, une machine n'est vraiment de réserve que si elle est en marche et couplée avec les autres, pour que si un accident se produit à une machine, on ait toujours au moment critique un nombre suffisant d'unités en marche. De sorte que la moyenne d'utilisation des machines est encore abaissée, et, s'il y a, par exemple, une consommation maximum exigeant trois unités, comme il en faudra quatre en marche, l'utilisation maximum ne sera que des trois quarts de la charge maximum.

On voit qu'à ce point de vue, on aurait avantage à avoir beaucoup de petites unités. Mais, par contre, on recherche les grosses unités parce qu'elles ont un meilleur rendement. Il y a là deux conditions contradictoires.

De ce qui précède, nous voyons que les machines fonctionnent le plus souvent aux trois quarts environ de leur charge ou même en-dessous. On trouverait de même que le voltage le plus fréquent est intermédiaire entre les extrêmes. Nous savons, maintenant, dans quelles conditions nous devons chercher à avoir le maximum de rendement de nos dynamos.

Ces conditions se modifient un peu dans les stations où il y a des accumulateurs. La batterie fait alors souvent le service de jour et elle permet de ne mettre les machines en train que lorsqu'on peut leur donner une charge notable. De cette façon, leur moyenne d'utilisation est relevée, mais, en revanche, leur élasticité, au point de vue du voltage, doit être encore plus grande que dans le premier cas. En effet, la force électromotrice des éléments varie de 1,9 volt à la fin de la décharge jusque 2,5 volts (et même plus) à la fin de la charge. Leur nombre doit être calculé en vue du voltage maximum de la station, il s'en suit que si l'on avait à recharger tous les éléments à la fois, le voltage pourrait, à la fin de la charge, monter à  $1 \frac{3}{4}$  fois le voltage maximum.

Mais on n'a généralement pas à pousser autant les choses à l'extrême, car on peut s'arranger de manière à recharger les éléments de réduction pendant que le reste de la batterie est en décharge sur le réseau, conformément au schéma (fig. 1).

Supposons, pour fixer les idées, que le courant absorbé par le réseau soit de 300 ampères. Si le courant normal de charge de la batterie est, par exemple, de 50 ampères,

on s'arrangera de manière à faire débiter 250 ampères à la batterie, les 50 ampères de supplément sont fournis par dynamo et traversent, en les rechargeant, les éléments de réduction.

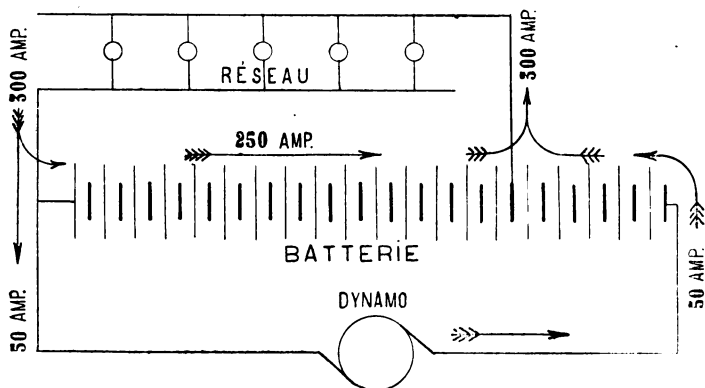


Fig. 1.

Reportons-nous à l'exemple cité plus haut : un réseau à 220 volts. Une perte de 20 % dans les conducteurs nécessite un voltage de 275 volts à la station ; il nous faudra donc une batterie de 144 éléments ; pour les charger tous en bloc, nous arriverions, à la fin de la charge, à 360 volts.

Mais en opérant comme nous l'avons dit plus haut, nous pourrions réduire considérablement cette tension.

Quatre cas limites peuvent se présenter suivant le voltage de la station et l'état de charge de la batterie :

- 1° Batterie déchargée, station à 275 volts ;
- 2° Batterie déchargée, station à 220 volts ;
- 3° Batterie fraîche, station de 275 volts ;
- 4° Batterie fraîche, station à 220 volts.

*Premier cas.* Les éléments en décharge sont affaiblis et ne donnent que 1,9 volt ; il faut alors la batterie complète pour fournir les 275 volts.

*Deuxième cas.* Le voltage à la station étant 220, il y a 116 éléments en décharge; les 28 autres peuvent être à 2,5 volts, donnant ensemble 70 volts. La dynamo devra alors marcher à  $220 + 70 = 290$  volts.

*Troisième cas.* Les éléments sont frais et donnent 2,1 volts; il y en a donc 132 en décharge; les 12 autres absorbent 30 volts, ce qui fait 305 de voltage total.

*Quatrième cas.* Celui-ci est le plus défavorable; il y a 106 éléments à 2,1 volts environ, les 38 restant donnent 95 volts, de sorte que le voltage total serait 315 volts.

Mais il faut remarquer que les éléments en décharge ne restent à 2,1 volts que pendant fort peu de temps, et, en deuxième lieu, que nous avons compté tous les éléments de réduction à 2,5 volts.

Or, par suite de leur destination même, ces éléments sont de moins en moins déchargés à mesure qu'on s'éloigne de la batterie, de manière que c'est l'élément le plus éloigné qui atteindra le premier le voltage de 2,5, tandis que le plus rapproché sera encore à 2,1. Nous pouvons compter que 2,3 est le voltage moyen de ces éléments, de même pour la batterie en décharge, 2,04 est le maximum pratique après quelques instants de marche. Nous aurons ainsi 108 éléments, à 2,04 *V* et 36 à 2,3 *V*, soit au total un maximum de

$$(108 \times 2,04) + (36 \times 2,3) = 303 \text{ volts.}$$

De ce qui précède, nous voyons que les dynamos auront à fonctionner en pleine charge entre 220 et 275 volts; au-delà de cette limite, elles devront aller jusque 303 volts, mais probablement avec un débit assez réduit correspondant au courant de charge de la batterie.

Nous avons vu également dans quelles circonstances nous devons chercher à obtenir le rendement maximum.

Nous voilà donc en face d'un problème dont les conditions sont bien déterminées. Il s'agit maintenant d'essayer de remplir ces conditions avec la dynamo dont nous avons à faire le projet.

Or, dans une étude pareille, bien des points sont laissés à notre appréciation ; nous devons donc les analyser à fond, et ne nous décider qu'en parfaite connaissance de cause.

Une telle étude serait ici un peu longue, et je me bornerai aujourd'hui à étudier le circuit magnétique considéré seulement dans l'armature.

\* \* \*

La théorie des machines dynamo-électriques, que les frères Hopkinson ont donnée, est certainement celle qui, judicieusement appliquée, conduit aux résultats les plus sûrs. La décomposition du circuit magnétique en ses diverses parties, permet de déterminer pour chacune d'elles la réluctance qui correspond à diverses valeurs de l'induction et, par le moyen de graphiques ou caractéristiques partielles, on peut arriver à la prédétermination très exacte de la caractéristique totale de la machine à circuit ouvert. Il est peut être permis de suivre le même procédé pour la détermination à priori des caractéristiques en charge (\*).

Rappelons ce que nous entendons par caractéristiques à vide et en charge :

Si nous faisons tourner une dynamo à sa vitesse de régime et si, par une source extérieure, nous excitions les

---

(\*) Dans ce qui suit, je m'inspirerai beaucoup des remarquables travaux que MM. Hopkinson, Esson et Swinburne ont publiés sur la matière.



électros avec des courants de différentes intensités, nous obtiendrons, pour chaque valeur du courant d'excitation une valeur correspondante du voltage aux bornes de la dynamo, celle-ci ne débitant aucun courant ; une série de ces opérations, reportées en un diagramme, constitue ce que nous appelons la *caractéristique à vide et excitation indépendante*. Comme le courant d'excitation est généralement très faible, on peut se permettre de le prendre à la dynamo même, sans fausser sensiblement les résultats ; on a alors la *caractéristique à vide et auto-excitation*.

On peut ensuite faire débiter du courant à la machine, sur des résistances quelconques, et s'arranger de manière que chaque expérience donne une intensité déterminée (la même dans toute une série d'essais), en même temps qu'on note les voltages obtenus avec diverses excitations. La série des résultats obtenus, reporté sur le diagramme, nous donne une *caractéristique en charge*.

Une série de caractéristiques en charge constituera, avec la caractéristique à vide, un essai complet des conditions de marche de la dynamo.

La théorie de Hopkinson nous enseigne comment on peut, à priori, déterminer la caractéristique à vide et nous ne nous en occuperons pas.

Mais de l'analyse des caractéristiques en charge nous pourrions tirer des renseignements utiles.

Ces caractéristiques se présentent en général sous la forme de la fig. 2.

On trouvera souvent que pour des variations de charge égales, la distance entre les caractéristiques va en augmentant avec la charge. Nous en verrons plus loin la raison.

Tout d'abord, il est évident que toutes ces courbes ne peuvent coïncider avec la courbe à vide, car cette dernière nous donne la force électromotrice *totale* réellement déve-

loppée dans l'armature sous une excitation déterminée. Or, dans les caractéristiques en charge, ce que nous mesurons est le voltage aux bornes, qui est inférieur au voltage total de la quantité  $Ir$ ,  $I$  étant le courant et  $r$  la résistance de l'armature; cette perte  $Ir$  va croissant proportionnellement à la charge  $I$ .

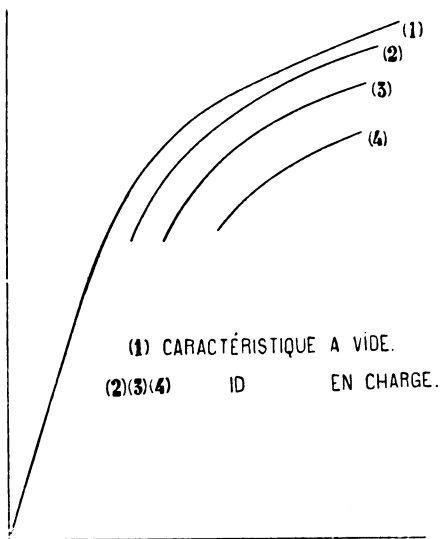


Fig. 2.

Si l'on n'avait à tenir compte que de cet effet, on pourrait tracer directement les caractéristiques à diverses charges, mais d'autres causes interviennent pour rendre plus accentuée cette baisse de voltage. Ces causes ont été réunies en bloc sous le nom de réaction d'induit et nous allons tâcher de les passer en revue.

Nous savons que le courant circulant dans l'armature provoque un déplacement du champ magnétique et un décalage de la ligne neutre dans le sens de la rotation, ce

qui conduit à déplacer les balais dans le même sens; c'est cet angle de décalage que Hopkinson appelle  $\lambda$  (fig. 3).

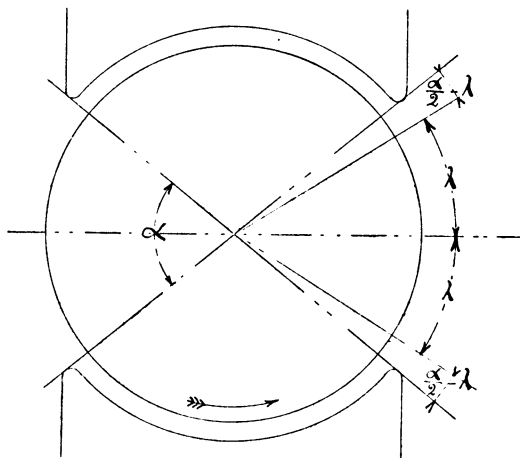


Fig. 3.

Appelons  $\alpha$  l'ouverture des pièces polaires et  $m$  le nombre de spires par degré de l'armature. Si  $I$  est le courant qui passe dans un conducteur, nous savons que les spires situées dans un angle  $2\lambda$  développent une force magnéto-motrice  $2\lambda m I$  qui s'oppose au passage du flux dans cette partie de l'armature. Nous n'avons pas à nous occuper des spires contenues dans les deux angles  $\frac{\alpha}{2} - \lambda$ , parce que les courants qui les traversent étant égaux et de sens opposés, leurs effets s'annulent.

Nous avons donc  $2 m \lambda$  spires qui donnent un nombre d'ampères-tours  $2 m \lambda I$  en opposition avec la force magnéto-motrice des électros (\*). Pour maintenir l'induction primitive, nous devrions théoriquement renforcer

(\*) C'est ce que Swinburne appelle des back-ampere-turns.

d'autant l'excitation, mais le supplément d'excitation sera en réalité plus grand, parce que l'opposition de ces contre ampère-tours augmente les dérivations du flux magnétique autour de l'armature. De cette augmentation des dérivations (le coefficient  $\nu$  de Hopkinson), résulte une augmentation de l'induction dans la culasse et les électros, ce qui, en raison de la diminution correspondante de la perméabilité, nécessite encore un surcroît d'excitation. De plus, on est obligé d'avancer les balais au delà de la ligne neutre, pour que les spires commutées soient dans un champ assez fort pour assurer une commutation sans étincelles. De la sorte, le nombre de spires réellement actives se trouve diminué, et il en est par conséquent du même du voltage, d'où nécessité d'un nouveau surcroît d'excitation pour ramener la tension voulue. On voit que cette déplorable obligation de décaler les balais produit une série d'effets qui se répercutent l'un sur l'autre et finalement se traduisent, soit par une baisse de voltage, soit par un supplément d'excitation. Nous avons parlé tout-à-l'heure du décalage du champ magnétique. Il est causé par l'influence du courant qui circule dans les spires se trouvant dans l'angle d'épanouissement polaire. Swinburne en a rendu compte de la façon suivante : Ces spires tendent à créer un champ transversal à angle droit avec le champ principal (c'est pourquoi il appelle *cross-ampère-turns* les ampère-tours dus à ces spires). Le champ transversal ainsi créé, s'il existait seul, serait fonction des réluctances de l'entrefer, de la culasse et de l'armature.

Ces deux dernières étant en général très faibles, il en résulte que ce champ transversal a une valeur qui dépend presque uniquement de la réluctance de l'entrefer. Sa valeur maximum aurait lieu sous les cornes des pièces polaires et serait  $\frac{4\pi NI}{2e}$ , en appelant N le nombre de spires compris

dans l'épanouissement polaire,  $I$  le courant dans l'armature,  $e$  l'épaisseur de l'entrefer ; nous prenons  $2e$  parce que le champ aurait à traverser 2 fois l'entrefer. Ce champ étant symétrique, est nul au milieu du pôle et va en augmentant dans un sens et dans l'autre, à mesure qu'on se rapproche des cornes.

D'après sa direction, on voit que sous la corne d'entrée, les ampère-tours qui le produisent sont en opposition directe avec ceux du champ principal et leur nombre y est maximum.

Ce nombre va en diminuant jusqu'au milieu de l'épanouissement polaire, et, à partir de là, leur valeur s'ajoute à celle du champ principal pour arriver au maximum sous la corne de sortie. Ceci nous explique pourquoi le champ est maximum à cet endroit et minimum sous la corne d'entrée.

Si, pour la marche à vide, la force magnéto-motrice relative à *un* entrefer est  $(4 \pi n i)$ , le champ à vide sera uniforme et égal à  $\frac{(4 \pi n i)}{e}$ , mais, en charge, il sera

$$\frac{(4 \pi n i) - 2 \pi N I}{e} \text{ et } \frac{(4 \pi n i) + 2 \pi N I}{e},$$

respectivement aux cornes d'entrée et de sortie. Ceci nous montre que, pour certaine valeur de  $N I$ , le champ pourrait être annulé sous la corne d'entrée et doublé sous l'autre.

Dans ce cas, le décalage des balais devrait être poussé au-delà de la corne d'entrée et il serait bien difficile d'empêcher la dynamo de cracher. Ce serait naturellement encore pis si l'on avait  $2 \pi N I > (4 \pi n i)$ .

Il va de soi que l'on doit s'arranger de manière à avoir  $(4 \pi n i) > 2 \pi N I$  d'une quantité suffisante pour assurer une bonne commutation.

Nous pouvons tracer un diagramme donnant les valeurs

du champ aux différents points du développement de l'arc polaire. Nous prendrons pour abscisses les longueurs de cet arc comptées à partir de la corne d'entrée, et pour ordonnées les valeurs du champ.

A vide, on a une droite horizontale à la hauteur  $\frac{(4\pi ni)}{e}$ .

En charge, cette droite sera inclinée et aura pour ordonnées extrêmes  $\frac{(4\pi ni)}{e} - \frac{2\pi NI}{e}$  et  $\frac{(4\pi ni)}{e} + \frac{2\pi NI}{e}$ .

Les choses se passent d'une façon un peu différente dans les armatures dentées telles qu'on en fait beaucoup maintenant. Ici, nous avons pour ainsi dire deux entrefers : l'un, l'entrefer ordinaire compris entre l'alésage des pôles et le diamètre extérieur des tôles ; l'autre, formé par la partie dentée des tôles. Je puis comparer ceci à un entrefer, car, étant donné que l'on prend d'habitude une assez forte saturation dans les dents, une certaine portion du flux repasse dans les trous.

Comme dans le cas précédent, la force magnéto-motrice varie de  $(4\pi ni) - 2\pi NI$  à  $(4\pi ni) + 2\pi NI$ .

Mais les densités de flux ne varient plus de la même façon parce que le circuit magnétique comprend un entrefer d'air et un entrefer mixte, composé, comme nous l'avons dit, d'une dent et d'un trou.

Le flux qui passe dans la dent est créé par la même force magnéto-motrice que celui qui passe dans le trou. Ces deux flux s'ajoutent pour passer dans l'entrefer proprement dit. Appelons  $\Phi_d$ ,  $\Phi_t$ ,  $\Phi_e$  les flux qui passent respectivement dans la dent, le trou et l'entrefer proprement dit, et affectons des mêmes indices les quantités qui se rapportent aux mêmes parties. Nous avons :

$$\begin{aligned}\Phi_d + \Phi_t &= \Phi_e, \\ (4\pi ni)_e &= \frac{\Phi_e l_e}{s_e}, \\ (4\pi ni)_t &= \frac{\Phi_t l_t}{s_t} = \frac{\Phi_d l_d}{p s_d}.\end{aligned}$$

Nous ne pouvons rien tirer de ces équations directement, mais si nous attribuons certaines valeurs au flux dans les dents, nous pourrions en déduire les flux dans les trous et l'entrefer, ainsi que les forces magnéto-motrices.

Pour fixer nos idées, prenons un exemple concret. Soit une dynamo pour laquelle on aurait calculé une densité moyenne de 5,000 dans l'entrefer et soit 1 centimètre la longueur de cet entrefer; supposons que les dents aient 3 centimètres de long et occupent utilement un tiers de la surface de l'armature.

Nous allons dresser un tableau dont la 1<sup>re</sup> colonne nous donnera les densités dans le fer des dents, la 2<sup>e</sup> colonne, la force magnéto-motrice nécessaire par centimètre de longueur et qui sera la mesure du champ dans le trou, la 3<sup>e</sup> la force magnéto-motrice totale pour la dent, qui sera la même pour le trou.

Comme le fer occupe 1/3 de la surface, le flux qui en émane, répandu dans l'entrefer aura une densité  $\frac{B_d}{3}$ .

Pour le trou, comme il occupe 2/3 de la surface, son flux aura dans l'entrefer une valeur  $\frac{2 H_t}{3}$ . La densité dans l'entrefer sera donc  $\frac{B_d + 2 H_t}{3}$ , valeur portée dans la 4<sup>e</sup> colonne, et comme l'entrefer a un centimètre de longueur, ce sera aussi la valeur de la force magnéto-motrice dans l'entrefer; la dernière colonne, somme des chiffres de la 4<sup>e</sup> et de la 3<sup>e</sup>, donne la force magnéto-motrice totale.

| $B_d$  | $\mathcal{H}$ | $(4\pi ni)_d$ | $\frac{B_d + 2\mathcal{H}}{3}$ | $(4\pi ni)$<br>Totaux. |
|--------|---------------|---------------|--------------------------------|------------------------|
| 22 000 | 800           | 2 400         | 7 530                          | 9 930                  |
| 21 000 | 400           | 1 200         | 7 260                          | 8 460                  |
| 20 000 | 250           | 750           | 6 850                          | 7 580                  |
| 19 000 | 150           | 450           | 6 430                          | 6 880                  |
| 18 000 | 75            | 225           | 6 050                          | 6 275                  |
| 17 000 | 35            | 105           | 5 690                          | 5 795                  |
| 16 000 | 26            | 78            | 5 350                          | 5 428                  |
| 15 000 | 22            | 66            | 5 015                          | 5 081                  |
| 14 000 | 18            | 54            | 4 670                          | 4 724                  |
| 13 000 | 16            | 48            | 4 350                          | 4 398                  |
| 12 000 | 14            | 42            | 4 010                          | 4 052                  |
| 11 000 | 12            | 36            | 3 670                          | 3 706                  |
| 10 000 | 10            | 30            | 3 340                          | 3 370                  |

Dans l'exemple que nous avons choisi, à vide, une valeur de 5,000 dans l'entrefer correspond à une force magnéto-motrice totale de 5,060; dans le fer des dents, la densité  $B$  sera de un peu moins de 15,000 et le champ  $\mathcal{H}$  dans le trou, environ 65; supposons encore que la force magnéto-motrice du champ transversal soit 3,000 et 6,000 respectivement à demi-charge et à pleine charge, nous aurons alors 3,560 et 2,060 à la corne d'entrée, et 6,560 et 8,060 à la corne de sortie, et nous pourrions tracer un diagramme du champ magnétique (fig. 4). Ce diagramme sera, comme avec les armatures lisses, une droite horizontale à vide, mais en charge, au lieu d'être une droite inclinée, ce sera une courbe, dont les abscisses seront encore les longueurs du développement polaire, et les ordonnées les champs correspondants aux forces magnéto-motrices en ces points.

Le diagramme peut servir à déterminer le flux total qui passe dans l'un et l'autre cas. En effet, les abscisses



peuvent représenter le développement en surface aussi bien qu'en longueur de l'épanouissement polaire ; les ordonnées représentant les densités par unité de surface, l'aire du diagramme représente donc bien le flux total.

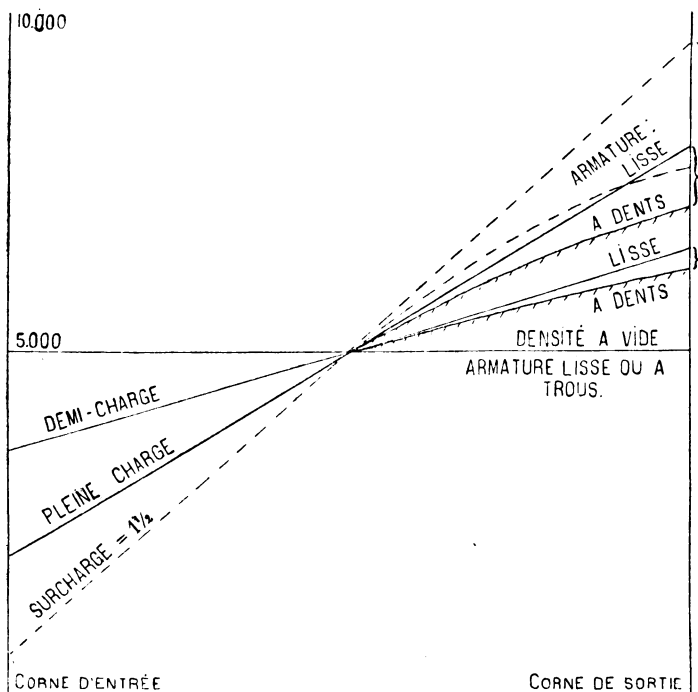


Fig. 4.

On voit clairement que, pour les machines à induit lisse, le flux conserve la même valeur totale, quelle que soit la charge, abstraction faite des autres causes de déperdition de flux et d'augmentation de réluctance du circuit. On peut voir aussi sur le diagramme qu'il n'en est pas de même avec les machines à dents, où la den-

sité ne croît pas proportionnellement à la force magnétomotrice. Il s'en suit qu'à mesure qu'on se rapproche de la corne de sortie, la courbe s'écarte de la droite et l'aire comprise entre la courbe et les axes est plus petite que dans le cas précédent. On voit aussi que la différence s'accroît très-rapidement avec la charge et que la valeur totale du flux décroît plus vite que la charge ne croît.

Nous voyons qu'en ne tenant compte que de cette circonstance de la variation de perméabilité, on en arrive à trouver que, dans les induits dentés, pour une excitation donnée, la force électromotrice aux bornes doit être moindre qu'on ne la trouverait par la seule application de la loi de Joule. Nous avons vu aussi que si nous pouvons déterminer à l'avance les pertes de flux, les angles de décalage, etc., nous pourrions déterminer approximativement la forme des caractéristiques en charge.

Nous trouverons ainsi que les caractéristiques à diverses charges iront en s'éloignant l'une de l'autre d'une façon beaucoup plus accentuée avec les armatures à dents qu'avec les armatures lisses, et ce, d'autant plus que la saturation primitive des dents sera plus forte et l'entrefer réel plus restreint.

Il en résulte que les dynamos à trous seront moins stables et, le cas échéant, plus difficiles à compounder que les autres.

On construit actuellement beaucoup de dynamos à dents. De prime-abord, on avait vu dans cette pratique un moyen de réduire la dépense d'excitation en réduisant l'entrefer, qui est, nous le savons, la principale résistance du circuit magnétique. Mais on s'aperçut bientôt des inconvénients des entrefers trop petits, surtout au point du crachement des balais.

On tâcha d'y remédier en saturant considérablement

les dents; mais alors on tomba sur les inconvénients que nous avons développés plus haut. De sorte qu'on en revient aux entrefers et aux saturations modérées.

Il faut remarquer qu'au point de vue mécanique, les armatures à dents, si même elles sont plus difficiles à construire, valent beaucoup mieux que les armatures lisses; la construction en est plus robuste; les frettages deviennent inutiles, et l'on peut aborder des vitesses périphériques plus grandes; les conducteurs sont mieux protégés, et il a été reconnu qu'il ne s'exerçait aucun effort sur eux.

\* \* \*

De tout ceci je n'ai aucune conclusion à tirer — Avant de se décider pour les armatures à dents ou les armatures lisses, l'ingénieur doit, comme je le disais en commençant, examiner la question sous toutes ses faces et ne se décider qu'après avoir bien pesé le pour et le contre.

Il doit faire pour toute les parties de la dynamo ce que nous venons de faire ensemble pour l'armature, et, de cette analyse, et de celles des conditions du problème, il saura tirer les conclusions nécessaires.

On le voit, le sujet est vaste; au cours de ce travail j'ai montré comment on doit envisager les conditions de marche d'une dynamo dont on a à faire le projet; j'ai développé à titre d'exemple le cas des stations centrales. Ensuite, supposant connues les exigences du projet, j'ai montré comment il convenait d'analyser les avantages et les inconvénients de telle forme ou de telle construction, en prenant pour exemple les comparaisons entre les armatures lisses et les armatures à dents.

Mon travail est maintenant terminé, et je m'estimerais heureux si l'un ou l'autre de nos jeunes camarades peut tirer un léger profit de ces *quelques notes sur le calcul des dynamos*. (*Applaudissements.*)

**M. De Bast**, *vice-président*, est certain d'être l'interprète de tous les membres présents pour féliciter **M. Mélotte** de l'étude approfondie qu'il vient de produire sur l'induit des machines à courant continu. Cette étude en appelle une autre, que notre Président peut traiter avec la même compétence, c'est celle de l'inducteur de la même classe de machines. **M. De Bast** exprime l'espoir que **M. Mélotte** voudra compléter ainsi le remarquable travail qui vient d'être exposé. (*Applaudissements.*)

La séance est levée à midi et demi.

## SÉANCE DU 22 DÉCEMBRE 1895.



*Présidence de M. Mélotte, président.*



Ont signé la liste de présence MM. Aguiado, Alfieri, Baert, de Bast, Bayet, Bertholet, Betocchi, Brunhes, Choulguin, Collin, Compyn, Cuccurullo, Dethieux, Everaerts, Fontaine, Emile Gerard, Guistetti, Horowitz, Larmoyer, Carl Lechat, L'Hoest, Markowitch, de Meglitzky, Melotte, Noirfalise, Pierard, Pirard, Praprotchetowitch, Renwart, Rousseau, Sarrat, Schreibmann, Somach, Turchi.

**M. Mélotte, président.** — Selon l'usage, les fascicules de novembre et de décembre du *Bulletin* seront réunis. L'approbation du procès-verbal de la dernière séance est donc ajournée.

**M. Piérard** communique à l'assemblée la note ci-après :

### La question du mélange des courants dans les lignes aériennes.

Dès le début de la téléphonie, on s'est aperçu qu'il suffisait que des lignes téléphoniques à fil simple, distantes de 20 à 30 cm, fussent parallèles sur une longueur de quelques kilomètres seulement, pour que l'on pût tenir une conversation de l'une à l'autre.

Trois facteurs peuvent intervenir dans cette transmission : l'induction électromagnétique, l'induction électrostatique, les dérivations, auxquels on rapporta d'ailleurs indistinctement le phénomène,

On chercha cependant bientôt à se rendre compte de leur importance relative et, pour les circuits normalement

établis, bien entendu, on accorda généralement une importance prépondérante aux effets électromagnétiques, jusqu'au moment où M. Carty (\*) vint affirmer, avec expériences nombreuses et variées à l'appui, que les troubles causés par l'induction dans les circuits téléphoniques étaient essentiellement de nature électrostatique.

Il ne restait plus qu'à donner la prépondérance aux dérivations aussi pour que chacun des trois facteurs eût eu ses partisans exclusifs, et c'est ce que vient de faire M. l'ingénieur Muller dans une volumineuse brochure intitulée : « *Les prétendus troubles d'induction dans le service téléphonique et leur suppression* », dont nous dirons quelques mots.

\* \* \*

L'expérience fondamentale sur laquelle se base M. Muller est la suivante :

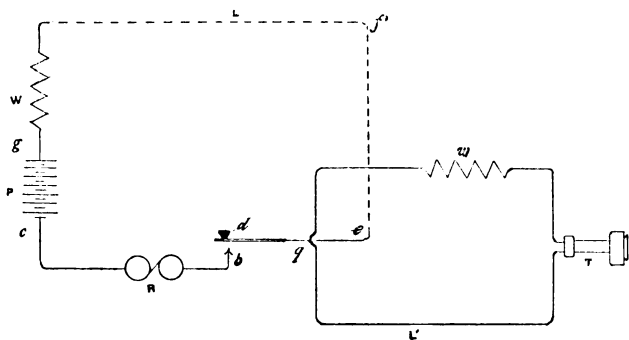


Fig. 1.

Un circuit télégraphique est formé, fig. 1, à l'aide d'un fil bien isolé à la gutta-percha (fil d'un câble télégraphique

(\*) Troubles produits par l'induction dans les circuits téléphoniques. *L'Électricien*, t. II, 1891, p. 181.

terrestre ordinaire) L, d'une pile P donnant 30 volts, d'une résistance W et d'un relais R.

Le fil L passe au-dessus de l'une des branches d'un circuit téléphonique L'. Les deux fils se trouvent placés immédiatement l'un au-dessus de l'autre, le point de croisement étant en  $q$  et la distance des conducteurs en cuivre au plus égale à 5 mm.

Dans ces conditions, on n'entend rien dans le téléphone lorsque l'on transmet des signaux Morse. Le résultat reste le même lorsque l'on intercale une résistance  $w$  de 200 ohms environ dans le circuit du téléphone, dans le but de déplacer le point neutre qui pourrait y exister.

M. Muller, affirmant que les effets électrostatiques sont intenses dans ces conditions, conclut que si « en pratique, » on perçoit des signaux sur des fils distants entre eux de » 1<sup>m</sup>50, il est impossible de considérer les signaux reçus » comme provenant de l'induction électrostatique. »

Cette conclusion ne nous paraît pas légitime. Dans l'expérience rapportée plus haut, les effets électrostatiques ne peuvent résulter que du passage des charges de la partie C R b du circuit télégraphique L, par rapport à la partie  $g f e d$ . Ces charges doivent être extrêmement réduites, parce que la capacité de ces deux parties de conducteurs, très courtes et très distantes par rapport à leurs dimensions, est elle-même presque nulle.

Et ce sont ces charges extrêmement réduites qui doivent encore agir par induction sur le circuit L' et y provoquer le déplacement de charges électriques qui actionneraient le téléphone.

Il n'est donc pas étonnant que M. Muller n'ait constaté aucune résonnance du téléphone dans ces conditions, et rien ne peut être inféré, quant à ce qui se passe sur des lignes aériennes, d'une expérience semblable.

L'essai fut continué en le modifiant comme suit :

Le conducteur L, fig. 2, fut mis à nu en un point de la couche isolante et fixé en ce point à un isolateur 1, tandis que le fil L' était placé d'un côté sur terre et de l'autre fixé à l'isolateur 2.

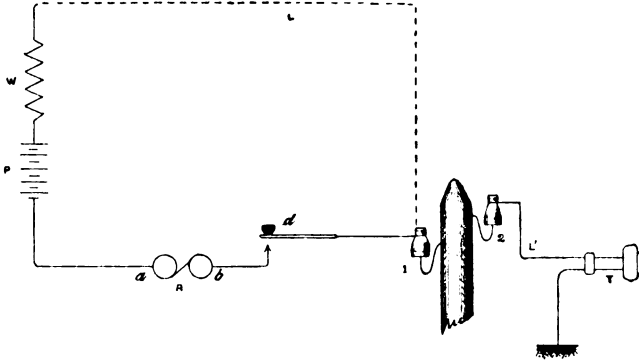


Fig. 2.

L'isolement entre les deux isolateurs était de 6 000 mégohms.

Si l'on transmettait des signaux avec le manipulateur, le téléphone restait silencieux. On obtenait le même résultat si on reliait à la terre le point *a* du fil Morse; mais si on plaçait la terre en *b* au lieu de *a*, les signaux Morses étaient nettement perçus dans le téléphone.

De ceci, M. Muller conclut encore que les effets électrostatiques sont négligeables et qu'il s'agit d'une dérivation de 1 vers 2 et L' vers la terre, déterminée par la forte élévation de potentiel due à l'extra-courant de rupture.

Supposons qu'il en soit ainsi et appliquons la loi d'Ohm  $E = IR$  au circuit 1, 2, L', T, en remarquant que son impédance se confond sensiblement avec sa résistance, vu l'énorme résistance comprise entre 1 et 2.



Les courants limites que l'on peut percevoir au téléphone étant de l'ordre du demi-micro-ampère et la résistance du circuit dérivé étant d'au moins 6 000 MO d'après M. Muller lui-même, il en résulte que la différence de potentiel minima agissante aurait dû être égale à  $6 \cdot 10^9 \cdot \frac{10^{-6}}{2}$  ou 3 000 volts, chiffre évidemment inadmissible. Car s'il en était ainsi, l'isolant du fil du relais eût été percé et la manœuvre du manipulateur *d* fût devenue dangereuse sinon mortelle.

Tout s'explique, au contraire, en faisant intervenir la capacité des circuits en présence. Les terres qu'on y a introduites ont pour effet d'augmenter considérablement leur capacité et celle qui est en jeu, capacité d'un circuit tout entier par rapport à l'autre, tout entier également, quoique très faible, est dès lors suffisante pour permettre l'audition des ruptures de courant, grâce à l'élévation de potentiel résultant de l'extra-courant et surtout à la chute brusque de potentiel qui la suit immédiatement. Les charges sont en effet directement proportionnelles à la différence de potentiel agissante et doivent, dans la seconde expérience, traverser entièrement le téléphone.

On peut se rendre compte bien simplement de la capacité extrêmement faible, suffisant pour que les effets téléphoniques puissent se manifester, par l'expérience suivante :

On met en ligne deux postes téléphoniques. On coupe le conducteur qui les réunit en un point et l'on soude, en regard l'une de l'autre et séparées par un intervalle d'air, deux plaques vibrantes de téléphone récepteur d'un diamètre d'environ 5 cm., et bien planes, naturellement. Malgré la résistance infinie (au point de vue statique) du circuit ainsi constitué, une conversation peut parfaitement être tenue entre les deux postes, lorsque les plaques sont

distantes de quelques millimètres. La conversation est encore possible, quoique difficile, pour une distance de 4 mm, mais il faut arriver jusqu'à 9 à 10 mm pour que l'audition devienne impossible. Lorsque l'on place les plaques latéralement l'une par rapport à l'autre, tous sons disparaissent.

Plus loin, M. Muller conclut, d'après des essais effectués sur une bobine à noyau en fil de fer, que, dans le cas où les effets d'induction acquièrent une certaine prépondérance, ce sont les effets électro-magnétiques qui l'emportent, les effets statiques étant négligeables.

Mais le fait d'enrouler les conducteurs en présence, surtout autour d'un noyau en fils de fer, augmente dans d'énormes proportions leur coefficient d'induction mutuelle. Les actions électromagnétiques sont ainsi naturellement rendues prépondérantes. Mais on est loin du cas de conducteurs linéaires parallèles, situés à 30 cm de distance l'un de l'autre et n'aimantant aucune pièce de fer pouvant émettre des lignes de force traversant les circuits voisins !

Si au lieu de rendre ses conducteurs inductifs, M. Muller s'était attaché à leur donner de la capacité en y insérant des condensateurs, il n'est pas douteux que ses conclusions aient été renversées et qu'il aurait trouvé que la capacité jouait un rôle prépondérant.

Mais quelle eût été la valeur de cette déduction relativement à ce qui se passe dans les lignes aériennes ?

L'analyse complète de la volumineuse brochure de M. Muller nous conduirait trop loin. Nous tenons toutefois à rencontrer encore un point. M. Muller indique que c'est principalement aux dérivations qu'il faut attribuer le fait que l'on peut parler par l'intermédiaire d'un translateur, dont un des circuits ou tous les deux ne sont pas raccordés au second fil de ligne ou à la terre.

Nous avons voulu vérifier ce point et avons installé deux translateurs Bennett, conformément au schéma de la fig. 3. A et B sont deux postes téléphoniques ;  $t t$  les terres ; les translateurs ont leurs circuits  $E_1$ ,  $E_2$ , isolés d'un côté.

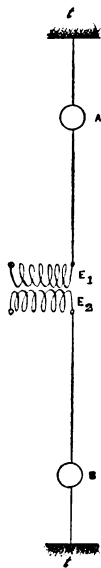


Fig. 3.

Dans ces conditions, une conversation peut être tenue entre les deux postes.

Nous avons ensuite mesuré à diverses reprises, l'isolement existant entre les deux circuits. Il a varié entre 153 et 387 mégohms.

L'intensité limite des courants de conversation perceptibles au téléphone étant, d'après M. Estaunié et Brylinski, de 12 micro-ampères environ ; il s'ensuit qu'au cas où l'explication donnée par M. Muller serait exacte, la force électromotrice minima engendrée par les bobines

microphoniques (dont le primaire était actionné par un élément d'1,30 volt environ de force électromotrice) aurait dû atteindre la valeur de  $12 \cdot 10^{-6} \cdot 387 \cdot 10^6 = 4\,644$  volts ! Or le nombre de tours du circuit secondaire de la bobine d'induction des microphones expérimentés était compris entre 4 et 5 fois celui du circuit primaire.

Comme conclusions pratiques, M. Muller préconise l'emploi de conducteurs posés sur isolateurs montés sur une même tige horizontale, reposant elle-même sur la tête d'autres isolateurs, afin d'assurer une isolation double.

Ce moyen nous paraît compliqué et coûteux. Il restreindrait de plus la capacité des poteaux. Or, le nombre de conducteurs dont la présence s'impose est actuellement si élevé, qu'il faut être très économe de la place disponible pour les circuits. Il est à noter, d'ailleurs, qu'il suffit de croisements d'un prix minime, pour éteindre tout mélange sur des circuits de n'importe quelle longueur.

Ceci a trait aux reliements à double fil.

Pour combattre les mélanges dans les lignes à simple fil, M. Muller recommande : « d'établir un fil de terre à » tous les poteaux et le relier dans de bonnes conditions de conductibilité avec tous les supports d'isolateurs. Ensuite, il faut tendre le long de la ligne entière » un fil spécial de la plus faible résistance possible et le » relier à tous les fils de terre. De plus, ce fil destiné à » faciliter l'écoulement vers la terre, doit être mis en » communication par ses extrémités avec la plaque de » terre commune. »

Tous ces moyens sont trop coûteux. L'induction téléphonique n'est réellement gênante que sur les longues lignes à *quelques* conducteurs. Pour celles-ci, le moyen

indiqué par M. Muller coûterait plus que leur montage en double fil.

Il est également à remarquer que le gros fil largement mis sur terre correspond au gros fil central des câbles dits *sans induction* et jouerait certainement un rôle important au point de vue statique. Presque totalement dépourvu de self-induction, il devrait, sous l'influence d'un fil téléphonique voisin en travail, se charger plus rapidement que les autres fils de ligne, et ceux-ci, se trouvant dès lors en présence de deux conducteurs portant des charges égales et contraires, ne subiraient plus qu'une influence différentielle d'autant plus atténuée que leur distance aux deux fils considérés se rapprocherait plus de l'égalité.

\* \* \*

Ultérieurement à la brochure de M. Muller, M. le docteur Vögel a publié un travail très mathématique, dans lequel il traite de l'influence réciproque des fils électriques et dont les conclusions corroboreraient, paraît-il, les idées émises par M. Muller.

Mais, comme on l'a fait remarquer, M. Vögel arrive à des résultats indépendants du diamètre des fils lorsqu'il traite des courants électrostatiques, ce qui est inexact *a priori*.

Cette erreur provient de ce qu'il dit que les charges  $V$  sont proportionnelles au potentiel et qu'il substitue ensuite simplement potentiel à charge, en posant la constante  $C = 1$ , sans tenir compte que ce facteur de proportionnalité est fonction du diamètre des fils.

En outre, M. Vögel se borne à chercher quel est le courant fictif résultant produit à travers la ligne. C'est envisager une hypothèse non-adéquate à la question étudiée. Car si l'on considère en particulier les courants dus à la charge du fil, leur somme est bien nulle, car ils sont

égaux et de sens contraire, mais ils n'en peuvent pas moins influencer des postes téléphoniques insérés aux deux extrémités du conducteur. Le calcul de M. Vögel ne donne aucune idée sur leur valeur. Or c'est précisément cette valeur qu'il conviendrait de comparer à celles des courants dus aux effets électromagnétiques ou aux dérivations, considérées l'une et l'autre isolément.

\* \*  
\* \*

En résumé, la manière nouvelle d'envisager les troubles téléphoniques produits dans les lignes aériennes que nous venons d'analyser, ne nous paraît nullement justifiée. Jusqu'à nouvelles données plus probantes nous persistons à leur accorder l'origine électrostatique que nous ont toujours décelée jusqu'ici les expériences faites sur des circuits en bon état.

**M. Mélotte, président.** — Je propose à l'Assemblée de remercier notre camarade pour sa nouvelle contribution à l'étude d'un sujet dont il nous a déjà entretenu à diverses reprises. M. Piérard, un de nos collaborateurs les plus actifs, nous a fait ressortir souvent l'importance des phénomènes électrostatiques dans la production des courants perturbateurs des lignes téléphoniques. (*Applaudissem.*).

**M. De Bast** fait part à l'Assemblée de l'empêchement de M. Eric Gerard, vice-président d'honneur, d'assister à la séance.

Il donne ensuite lecture des notes de voyages que **M. Eric Gerard** se proposait de présenter à l'assemblée, en collaboration avec **M. Georges Henrard**.

### Notes sur les courants polyphasés.

Au cours d'un récent voyage en Allemagne et en Suisse, entrepris dans le but de visiter les plus récentes instal-

lations par courants polyphasés, nous avons été à même d'entendre les opinions des principaux électriciens qui s'occupent de ces questions dans ces deux pays, où les applications de ces courants ont pris dans ces dernières années une grande extension. Nous résumons dans les lignes suivantes quelques-unes des impressions que nous avons recueillies.

Quoiqu'il ait été beaucoup écrit au sujet des courants polyphasés, les publications émanant des ingénieurs ayant construit des appareils ou fait des installations et qui seraient à même de donner les informations pratiques les plus sûres, sont relativement rares. On comprend que les maisons qui ont acquis leur expérience à grands frais mettent le plus tard possible le public au courant de leurs procédés d'étude et de calcul.

D'un autre côté, la lutte toujours vivace entre ces frères ennemis : le courant continu et le courant alternatif, n'est pas faite pour éclaircir la question, car les arguments mis en avant dans l'un et l'autre camp sont parfois bien subtils pour les non initiés.

Il y a quelques années, ces discussions ont rempli des volumes dans les recueils des sociétés techniques des deux mondes et elles faisaient quelque peu songer aux discours que s'adressaient les héros d'Homère avant de combattre. Heureusement que la lutte s'est établie sur un terrain plus pratique. Les installations faites ont permis de juger la valeur des systèmes. On a vu démarrer des moteurs qui étaient condamnés à l'immobilité et le moment n'est pas loin où les adversaires lutteront ensemble pour étendre le champ des applications. Ce but sera atteint lorsque les grands constructeurs seront tous outillés pour produire les divers genres de moteurs, chacun de ceux-ci étant employé dans les conditions les plus favorables : *the right motor in the right place.*

En ce qui concerne les courants polyphasés, les points qui ont été le plus discutés sont la fréquence, le nombre de phases et le type des alternateurs.

FRÉQUENCE. — Depuis l'origine de l'emploi des courants alternatifs la fréquence a varié dans de larges limites, 25 à 140 environ.

Les basses fréquences sont favorables aux moteurs dont elles réduisent la vitesse et facilitent le démarrage. Elles diminuent les effets d'impédance et de capacité dans les lignes, ainsi que l'effet Thomson ou accroissement de résistance dans les gros conducteurs traversés par les courants alternatifs. Par contre, les hautes fréquences conviennent mieux aux lampes et elles restreignent les dimensions des transformateurs.

Lorsque les applications ne portent que sur la force motrice ou sur l'éclairage, on est libre de choisir la fréquence qui convient le mieux dans chaque cas, d'où les limites extrêmes trouvées. Mais l'on tend de plus en plus vers les applications mixtes aux moteurs et aux lampes, et il est utile, pour ne pas multiplier les types de machines, de choisir la fréquence qui satisfait aussi bien que possible aux divers besoins.

D'après les renseignements que nous avons recueillis, la fréquence 50 serait dans ces conditions. Elle n'est pas excessive pour les moteurs et elle permet d'alimenter les lampes dans de bonnes conditions. Les lampes à incandescence fonctionnent parfaitement sous cette périodicité. Les lampes à arc scintillent un peu, mais les oscillations sont insensibles à une distance de quelques mètres lorsqu'on a soin d'envelopper le foyer d'un globe légèrement opalin et d'entourer le charbon supérieur d'un petit réflecteur en tôle émaillée. Ces arcs à courants alternatifs ont encore des opposants; on leur reproche leur sonorité ainsi qu'une infériorité de rendement par rapport aux arcs con-



tinus. La sonorité n'est un défaut sérieux que dans les grands arcs. Dans les lampes d'appartement, qui correspondent généralement à moins de 10 ampères, elle peut être rendue insensible. L'infériorité de rendement est compensée par la diminution des pertes dans les résistances additionnelles auxquelles on substitue des bobines à réactance et par la possibilité, grâce aux transformateurs, d'alimenter des arcs isolés ou des arcs en série, en nombre quelconque; tandis que les arcs continus doivent être montés par paires dans les distributions ordinaires.

Il existe d'ailleurs d'excellents systèmes d'arcs à courants alternatifs, tels que les types Hélios, Siemens et Halske, ainsi que le nouveau modèle différentiel de Schuckert que nous avons vu fonctionner à Nuremberg.

NOMBRE DE PHASES. — Le nombre de phases à utiliser dans les distributions par courants alternatifs a fait couler des flots d'encre et des torrents d'éloquence. La lutte s'est circonscrite entre les courants triphasés, les courants biphasés et les courants monophasés. Ceux-ci ont pour eux la grande simplicité des circuits, mais ils ne conviennent pas aux moteurs électriques et ne peuvent être défendus que lorsque l'éclairage est l'objet essentiel de la distribution. A Zurich et à Francfort, la puissance des moteurs monophasés en service n'est qu'une fraction infime de la puissance utilisée dans les lampes.

Les courants polyphasés ont le grand avantage de permettre l'alimentation des moteurs à démarrage automatique. En outre, les générateurs polyphasés sont plus économiques que les monophasés, grâce à la meilleure utilisation de la surface disponible de l'induit.

On a soutenu que les courants biphasés conviennent mieux que les courants triphasés parce que les circuits étant plus simple dans le premier cas, les raccordements aux lampes sont plus faciles et donnent lieu à moins de

dérangements. On a dit aussi qu'une variation de charge sur l'une des phases, dans le premier cas, influe moins que dans le second cas sur les lampes des groupes voisins. Ce dernier avantage est contesté par les partisans des courants triphasés. Ceux-ci ont l'énorme avantage de permettre une réduction de cuivre de 25 %, pour la même tension limite entre les conducteurs, par rapport aux systèmes monophasé et biphasé. Cette considération capitale a entraîné de grandes firmes à préconiser les courants triphasés : nous citerons les firmes *Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft Siemens et Halske* et *Oerlikon*.

TYPES D'ALTERNATEURS. — Les alternateurs peuvent être rangés en 3 classes ;

1) Les machines à circuit induit mobile et circuit inducteur fixe ;

2) Les machines à circuit induit fixe et circuit inducteur mobile ;

3) Les machines à circuit induit et circuit inducteur fixe et fer tournant.

1) Le premier type, qui est le plus ancien, n'est plus employé que dans les appareils de faible et moyenne puissance. Il a l'avantage de limiter les parties dans lesquelles se produisent les pertes par hystérésis et par courants de Foucault, ainsi que de restreindre les dimensions des conducteurs induits et partant la chute de tension dans ces derniers. Par contre, ce modèle a l'inconvénient de rendre mobile des conducteurs ordinairement traversés par des courants à haute tension et d'exiger des commutateurs nécessitant des soins spéciaux.

2) Il y a une tendance très accusée dans les grands alternateurs modernes à constituer l'induit à l'aide de la couronne extérieure fixe et à faire tourner les inducteurs excités par des courants à basse tension. Le

noyau laminé de l'induit porte un bobinage en tambour qui peut être posé sur le noyau, passé dans des rainures profondes ou dans des trous de l'armature.

Les inducteurs sont de modèles différents. Le plus souvent ils comportent une couronne de noyaux chaussés chacun d'une bobine excitatrice et pourvus d'épanouissements polaires convenables. Dans certains types de MM. Brown et Boveri, il n'y a qu'une bobine pour deux noyaux : les noyaux simples en fonte alternent avec les noyaux en fer bobinés.

On a beaucoup préconisé, il y a quelques années, les inducteurs à bobine unique et à projections polaires de polarités alternées. L'expérience a fait reconnaître des inconvénients graves à cette disposition qui réduisait la dépense d'excitation. Une grande bobine inductrice tournante est sujette à des déplacements de spires, par suite à des dilatations des conducteurs, et par conséquent à une usure par frottement. Si quelques spires sont ainsi mises en contact, le défaut ne se remarque pas, parce le nombre d'ampères-tours reste sensiblement constant; le défaut s'aggrave peu à peu et un court-circuit général finit par se produire, ce qui met l'alternateur hors service. Dans un inducteur à bobines multiples, une bobine en court-circuit n'est pas un obstacle à la marche de l'appareil. Lors de l'arrêt de celui-ci, on peut remplacer facilement la bobine défectueuse par une bobine de rechange.

Un défaut plus grave des inducteurs à bobine unique est le grand développement des pièces polaires qui accentue les déperditions de flux sous l'influence des réactions d'induit, ce qui amène une chute de tension entre la marche à vide et la marche en pleine charge s'élevant dans certains appareils à 30 %. Dans ces con-

ditions le réglage des lampes devient impossible, lorsque les circuits comprennent des moteurs à démarrages fréquents.

On arrive à corriger l'effet d'une réaction d'induit trop forte de la génératrice en disposant, près des moteurs alimentés, un moteur synchrone à grand moment d'inertie tournant à vide et faisant fonction de volant. S'il se produit une chute de tension résultant d'un démarrage, le moteur synchrone fait fonction de génératrice en vertu de son inertie, et supplée momentanément de l'énergie, ce qui empêche une chute de tension et un décalage trop sensibles.

3) Depuis quelques années, on a beaucoup étudié les alternateurs à circuits inducteur et induit fixes et à fer tournant. Essayés aux États-Unis par MM. Stanley et E. Thomson, ces alternateurs ont été surtout développés en Europe par l'*Industrie Electrique*, de Genève, par les ateliers d'*Oerlikon* et par l'*Allgemeine Elektrizitäts Gesel.*

Voici quelques schémas montrant les principales dispositions adoptées.

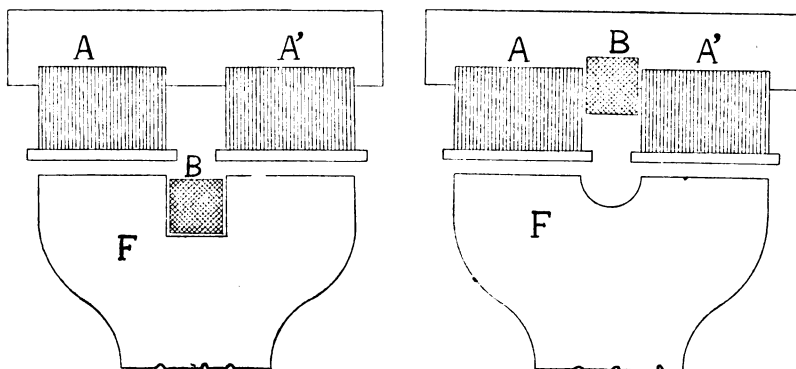


Fig. 1. — 1. Type Brown et Boveri. — 2. Type Oerlikon. — AA', noyaux laminés portant deux enroulements induits; B, bobine inductrice fixe; F, armature en fer, tournante.

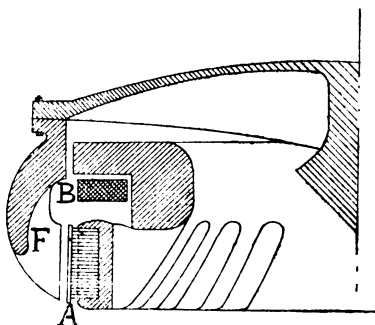


Fig. 2. — Type Thury. — A, noyau laminé portant l'enroulement induit fixe; B, bobine inductrice fixe; F, cloche en acier portée par l'arbre vertical d'une turbine et pourvue de saillies conduisant des faisceaux de lignes de force devant l'armature.

Ces dispositions suppriment tout contact mobile et donnent une solidité plus grande aux alternateurs. Certaines firmes hésitent toutefois à adopter le principe du fer tournant en prétextant qu'il oblige à fonctionner à plus hauts flux dans le fer, ce qui augmente les courants de Foucault; on prétend également que la réaction d'induit est plus grande dans ces machines que dans celles à inducteurs tournants. La vérité est que l'expérience n'est pas suffisante pour permettre de porter un jugement définitif. Les résultats imparfaits fournis par certaines machines peuvent provenir d'une mauvaise proportion de celles-ci et non d'un vice de système.

RÉACTION D'INDUIT. VALEURS DU FACTEUR DE PUISSANCE. — Quoiqu'il en soit la condition essentielle du bon fonctionnement des alternateurs polyphasés sur les circuits mixtes comprenant des moteurs et des lampes est une chute de tension aussi faible que possible, à excitation constante, entre la marche à vide et la marche en pleine charge; cette chute de tension ne doit, en aucun, cas

dépasser 15 % de la tension totale sur les circuits de moteurs et 5 % sur les circuits de lampes.

Ce qui donne une importance si grande à cet élément est le courant et le décalage considérables des moteurs polyphasés lors des démarrages brusques, ce qui amène dans les lampes une baisse subite à laquelle on ne peut remédier assez rapidement. Il faut que par lui-même l'alternateur maintienne suffisamment la différence de potentiel aux bornes, pour qu'il n'y ait pas de variation d'éclat sensible dans les lampes. C'est de ce côté que péchaient surtout les premières installations polyphasées.

L'effet utile des alternateurs et des lignes dépend de la nature des appareils qu'ils desservent. Les appareils sans réactance, tels que les lampes, donnent un décalage sensiblement nul, tandis que les moteurs donnent une valeur du facteur de puissance comprise entre 0,65 et 0,85, suivant leur puissance et leur mode de démarrage. Dans les circuits mixtes de moteurs et de lampes, il est bon de compter sur une valeur moyenne de ce facteur comprise entre 0,70 et 0,75.

**MOTEURS POLYPHASÉS.** — Le succès des distributions polyphasées est dû à la simplicité des moteurs qu'elles utilisent et à la facilité que donnent les transformateurs pour raccorder ces moteurs à des canalisations à haute tension.

Les moteurs polyphasés de 1/10 à 10 chx se construisent ordinairement pour des tensions de 100 à 500 volts, les moteurs de 10 à 30 chx pour des tensions de 500 à 2 000 volts. Les moteurs de 50 chx peuvent s'enrouler pour la tension de 3 000 volts et ceux de 75 chx pour 5 000 volts.

Par suite de leur simplicité et du peu d'entretien qu'ils nécessitent les moteurs polyphasés peuvent être placés sur des consoles élevées ou sur les piliers des fermes,

afin de ne pas occuper de place sur le sol. Avec les graisseurs à bagues, une visite hebdomadaire est suffisante.

L'opinion dominante, dans les premières années de l'emploi des alternomoteurs, était que les grands moteurs doivent plutôt être du type synchrone que du type asynchrone. Actuellement, on est arrivé à donner aux moteurs asynchrones un rendement équivalent à celui des moteurs synchrones et, eu égard aux facilités que les premiers présentent pour démarrer et vaincre des surcharges momentanées, ils sont actuellement préconisés par les grands constructeurs.

Il est curieux de constater combien l'accord s'est fait rapidement sur les meilleures dispositions à adopter pour les moteurs polyphasés, à tel point qu'il faut une certaine attention pour distinguer entre eux les moteurs des diverses firmes. Cet accord est d'autant plus remarquable que les divergences sont restées très accusées entre les moteurs à courant continu de divers constructeurs.

Pour les moteurs polyphasés, il y a certaines conditions primordiales qui ont unifié les types. La nécessité de réduire les entrefers a fait adopter d'une manière générale la denture des noyaux ou la perforation de ceux-ci, tant pour le passage des circuits inducteurs que pour celui des circuits induits. Toutes les carcasses sont laminées pour éviter les courants de Foucault. Le bobinage en tambour est accepté par tous les constructeurs pour les induits. C'est celui qui donne lieu aux moindres dérivations de flux. Les induits des petits moteurs sont à cage d'écureuil. Les seules divergences que l'on constate ont rapport aux procédés de démarrage.

Ces procédés dépendent des distributions auxquelles les moteurs sont raccordés. Lorsque ces distributions n'alimentent que des moteurs, que ceux-ci peuvent supporter des variations momentanées de vitesse et, enfin,

lorsque les génératrices sont puissantes relativement aux moteurs, il n'y a pas d'inconvénient à admettre le démarrage brusque en charge pour des moteurs à circuit fermé dont la puissance ne dépasse pas une dizaine de chevaux.

Quand, au contraire, la distribution alimente des lampes ou des moteurs, tels que ceux des métiers, pour lesquels la vitesse doit être tout-à-fait régulière, toutes les précautions doivent être prises pour éviter les démarrages trop brusques. Le moyen le plus généralement employé dans les cas semblables est l'introduction dans le circuit de l'induit de résistances qu'on élimine graduellement. Avec les grands moteurs, on cherche autant que possible à démarrer à vide en se servant d'une poulie folle ou d'un embrayage. L'introduction des résistances dans l'induit, nécessite des bagues et des contacts mobiles, mais ces appareils n'ont pas les inconvénients des collecteurs des moteurs à courant continu, à cause de leur continuité et de leur simplicité.

Grâce à ces résistances, il est possible de démarrer avec le courant normal dans les inducteurs pour obtenir le couple normal, avec un courant double, pour obtenir le double du couple normal et avec un courant triple pour obtenir le triple du couple normal. Nous avons eu l'occasion d'exécuter chez MM. Siemens et Halske, à Berlin, et chez MM. Brown et Boveri, à Baden, des expériences confirmant ces indications.

Notons en passant la forme des freins dont nous nous sommes servis pour les expériences. Chez MM. Siemens et Halske, le frein du type Prony appuyait par une de ses extrémités sur le plateau d'une bascule chargée des poids correspondant au couple que l'on voulait obtenir.



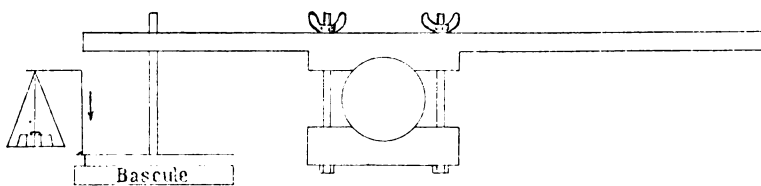


Fig. 4.

Chez MM. Brown et Boveri, la poulie du moteur recevait une lanière de cuir, dont une extrémité était tenue à la main et l'autre extrémité fixée à un dynamomètre à ressort. En modifiant la surface d'enroulement de la lanière, on fait très aisément varier le couple résistant.

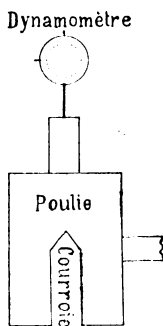


Fig. 5.

Les résistances de démarrage sont généralement solides; les résistances liquides tendent à être abandonnées par suite de l'entretien qu'elles nécessitent. Il est bon de munir les appareils de démarrage d'une commande par vis sans fin pour obliger les ouvriers à les déplacer lentement.

On a proposé, il y a quelques années, d'enfermer les résistances de démarrage à l'intérieur de l'induit et de les mettre en court circuit, lorsque la vitesse de régime

est atteinte, à l'aide d'un collier glissant sur l'arbre de la machine ; mais ce dispositif n'est plus employé.

Un système plus simple, que nous avons vu essayer par la firme Siemens et Halske, à Dresde, est dû à M. Görges. Le bobinage de l'induit comporte deux circuits pour chacune des phases. Ces circuits, de nombres de spires différents, sont en opposition au démarrage, de manière que leur forces électromotrices antagonistes ne pro-

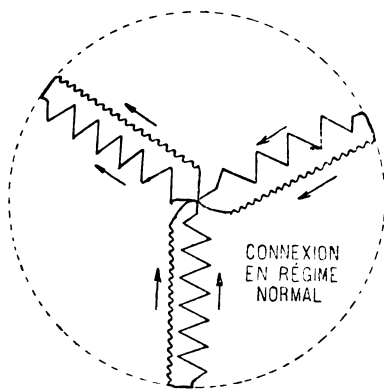


Fig. 5.

duisent qu'un courant de l'ordre du courant normal. Lorsque la vitesse de régime est atteinte, une bague glissant sur l'arbre met les bobines en parallèle, comme dans la cage d'écureuil, à l'aide de connexions figurées en pointillé, de sorte que les courants qui les traversent prennent leurs intensités normales.

Quand, pour des raisons spéciales, par exemple, à cause du grisou dans les charbonnages, on ne peut admettre de contacts mobiles, on adopte les induits en court-circuit et, pour atténuer les courants de démarrage dans les inducteurs, on utilise divers artifices qui sont, en général, moins efficaces que les précédents. Parmi ces artifices, le plus employé est l'auto-transformateur placé

dans le circuit des inducteurs et qui permet, par exemple, de doubler approximativement le courant de démarrage, en réduisant de moitié environ la tension aux bornes des inducteurs.

Soient  $m, n$ , les bornes d'un des circuits. Le transformateur porte deux bobines égales  $ac, cb$  disposées en série sur un noyau fermé et les extrémités  $a, b$  sont reliées à la distribution. Si l'on réunit  $m$  à  $c$  le circuit

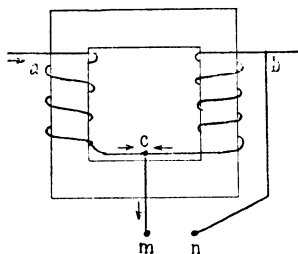


Fig. 6.

$mn$  est traversé par un courant venant par  $ac$ . Mais ce dernier aimante le noyau et produit dans  $cb$  une force électro-motrice qui détermine un courant s'ajoutant à celui de  $ac$  dans le circuit  $mn$ . Le démarrage effectué, on réunit directement  $m, n$  au circuit d'alimentation.

Quels que soient les moyens employés pour démarrer, il est toujours bon de ménager une certaine élasticité dans les appareils de transmission. La courroie qui permet un glissement initial est indiquée dans la plupart des cas. Lorsque son emploi n'est pas possible, comme dans les ascenseurs, grues, ponts roulants, on peut intercaler dans l'accouplement un ressort qui se tend pendant une partie de la première révolution du moteur.

Nous avons vu un artifice de démarrage spécial chez M. Schuckert pour les pompes où le couple initial est grand par suite de l'inertie des colonnes d'eau. On met,

au démarrage, les deux extrémités du corps de pompe en communication par un tuyau, de sorte qu'au départ l'effort exigé du moteur se borne aux frottements de la pompe. Une fois celle-ci en vitesse, on ferme le conduit et l'eau est refoulée dans la colonne.

Nous avons vu, chez MM. Brown et Boveri, une voiture de tramway destinée à Lugano et pourvue de moteurs triphasés avec résistances de démarrage dans l'induit. Cette application déjà tentée par d'autres firmes aurait l'avantage d'éviter les corrosions de tuyaux auxquelles sont sujettes les transmissions à courants continus; mais elle rencontre de grandes difficultés. L'impédance des circuits, qui comprennent deux fils de trolleys et le retour par les rails, amène une majoration des forces électromotrices utilisées. De plus, si l'on veut faire varier la vitesse du moteur il faut introduire dans l'induit des résistances qui absorbent une grande partie de l'énergie utile. Il est vrai que l'on peut procéder comme avec les moteurs continus; avec ceux-ci on ne maintient pas les résistances de réglage en circuit, mais on procède généralement par impulsions, en donnant graduellement à la voiture sa vitesse normale et en coupant le moteur lorsque celle-ci est atteinte.

Le réglage de la vitesse est une difficulté avec les moteurs polyphasés.

On peut obtenir des vitesses variant dans les rapports 1: 2: 3, en modifiant le couplage des pôles inducteurs; mais, pour obtenir des variations graduelles, il faut introduire dans l'induit des résistances qui amènent une dépense d'énergie sérieuse.

Aussi les constructeurs recommandent-ils, lorsqu'on doit varier la vitesse des moteurs polyphasés, de recourir à des moyens mécaniques, tels que les poulies coniques, les embrayages à disques normaux, etc.

Ajoutons qu'en revanche les moteurs polyphasés permettent d'assurer la constance de la vitesse d'une manière parfaite. Cette constance est liée à la fréquence des génératrices. Avec les moteurs continus, au contraire, l'échauffement des circuits, qui amène des modifications de résistances, oblige à des réglages.

Nous avons vu, à Zurich, fonctionner des petits moteurs polyphasés dans des tissages de soie, où la vitesse doit être tout à fait constante.

On peut dire qu'au point de vue du prix et du rendement les moteurs polyphasés sont actuellement équivalents aux moteurs à courant continu. Les petits moteurs polyphasés, à cage d'écureuil, se prêtent mieux à une fabrication mécanique que les moteurs continus et s'obtiendront à un prix plus avantageux lorsque la fabrication en sera étendue et que les droits de brevets seront tombés.

**TRANSFORMATEURS POLYPHASÉS.** — Les transformateurs employés dans les circuits parcourus par des courants polyphasés peuvent être simples ou conjugués. Dans le système triphasé, par exemple, on peut utiliser trois transformateurs simples distincts ou combiner trois noyaux munis de culasses commune et portant chacun les enroulements primaire et secondaire correspondant à l'une des phases. Ce dernier système est le plus économique et le plus répandu. Le premier a l'avantage d'éviter que les divers courants ne réagissent aussi fortement les uns sur les autres lors d'une variation brusque de l'un d'eux.

On a soin d'alterner les sections primaires et secondaires sur chacun des noyaux des transformateurs, de manière à réduire les déperditions de flux qui amènent une chute de tension secondaire. Celle-ci peut être restreinte à 2 % dans les circuits de lampes et à 6 % dans les circuits de moteurs, de la marche à vide à la pleine charge.

Pour les gros moteurs, il est prudent de prévoir des transformateurs d'une puissance nominale de 50 % supérieure à la puissance en watts réels des moteurs correspondants et il est bon de dériver plusieurs moteurs sur un même transformateur. Si l'on a affaire à des moteurs de forte puissance, il est utile d'employer des transformateurs spéciaux pour les moteurs et pour les lampes.

ÉQUILIBREUR DE TENSION. — Si, dans une distribution triphasée, les diverses branches sont inégalement chargées, il en résulte des différences de tension qu'il est difficile de régler à l'usine. Les moteurs dérivés sur les trois circuits ont une tendance à égaliser la tension de ceux-ci. Dans le même but, on peut disposer dans les réseaux secondaires des appareils dits équilibreurs, formés d'une carcasse à trois noyaux identiques à celle des transformateurs ; ces trois noyaux portent simplement trois bobines dérivées en triangle sur les trois circuits. S'il se produit une chute de tension dans l'un deux, les bobines reliées aux deux autres sont parcourues par des courants plus intenses et tendent à relever la tension dans la branche défectueuse.

CONDUCTEURS. RÉSEAUX. — Les sections des conducteurs employés pour les courants alternatifs sont limitées par l'effet Thomson, qui accroît la résistance en obligeant le courant à se porter vers la surface du conducteur. On ne dépense pas, sous les fréquences ordinaires, les sections de 300 à 350 mm. , qui sont d'ailleurs trop élevées pour les lignes aériennes. Dans ces dernières, l'écartement qu'on est obligé de donner aux fils amène une impédance qui se détermine par les tableaux dressés par M. Kennely. On diminue cette impédance, en subdivisant les conducteurs et en alternant, dans les faisceaux aériens, les conducteurs reliés aux pôles de la génératrice.

On a renoncé complètement aux isolateurs à l'huile, qui nécessitent un entretien difficile ; on préfère les grands isolateurs à double et à triple cloche.

Dans les lignes souterraines, on fait usage de conducteurs concentriques ou de conducteurs tordus enfermés dans la même armature. Dans ces conditions, l'impédance est négligeable.

Les effets de capacité jouent dans les câbles souterrains un rôle considérable. Par suite de la résonance due à l'action combinée de la capacité des lignes et de la self-induction des génératrices, on peut arriver à des courants très intenses à circuit ouvert, c'est-à-dire sans qu'aucun appareil récepteur ne soit raccordé.

Ces effets croissent très rapidement avec la tension adoptée, c'est une des causes qui limitent la tension admissible dans les réseaux souterrains parcourus par des courants alternatifs.

Une autre cause de limitation de la tension réside dans la difficulté de l'isolement des câbles. On emploie ordinairement comme isolants le papier ou une autre substance à base de cellulose. Bien préservés, ces isolants ont une durée indéfinie. Les épaisseurs utilisées croissent rapidement avec la tension et les prix des câbles, suivant une progression, dont on aura une idée par le tableau suivant extrait du catalogue d'un fabricant :

|                                                                                                               |                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 2 câbles concentriques de 100<br>mm <sup>2</sup> de section, fabriqués pour<br>2 000 volts, coûtent . . . . . | fr. 8 958 le kilomètre. |
| 2 câbles concentriques de 100<br>mm <sup>2</sup> de section, fabriqués pour<br>3 000 volts, coûtent . . . . . | » 9 840 . . . . .       |
| 2 câbles concentriques de 100<br>mm <sup>2</sup> de section, fabriqués par<br>4 000 volts, coûtent . . . . .  | » 11 642 . . . . .      |

2 câbles concentriques de 100 mm<sup>2</sup> de section, fabriqués pour 5 000 volts, coûtent . . . . . fr. 13 090 le kilomètre.

Peu de firmes conseillent de dépasser 4 000 volts avec les câbles isolés au papier. Au-delà, elles conseillent parfois le caoutchouc, substance moins stable que la cellulose et dont la durée ne peut être aussi longue.

La tension limite varie d'ailleurs avec l'étendue des réseaux, par suite des effets de capacité.

Le coût des grands faisceaux d'artères de câbles souterrains a fait étudier divers artifices pour en diminuer le prix. On sait qu'au Niagara, les câbles principaux sont des conducteurs nus posés sur des isolateurs dans un tunnel.

A Genève, la Maison Berthoud, Borel, de Cortaillod, essaie des conducteurs nus posés dans des tranchées et noyés dans un béton formé de brai et de gravier. Ce béton possède une certaine élasticité propre à éviter les fissures sous les efforts d'écrasement. L'avenir dira la confiance qu'on peut avoir dans ces conduites.

Afin de donner une idée de l'application des courants polyphasés, nous décrirons sommairement les installations que nous avons vues à Dresde et à Chemnitz, et qui ont été effectuées par la firme Siemens et Halske.

INSTALLATION TRIPHASÉE DE DRESDE. — L'usine électrique alimente à la fois des lampes et des moteurs par les mêmes réseaux de distribution, dans la gare de Dresde et les ateliers et remises de l'administration des chemins de fer Saxons.

*Le mode de distribution* adopté a été imposé par cette administration.



Voici le schéma des connexions.

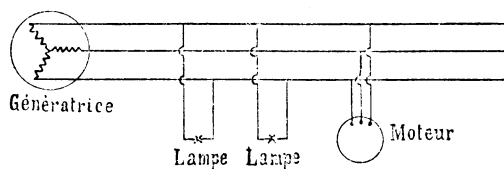


Fig. 7.

Comme on le voit, toutes les lampes sont raccordées à une seule branche du réseau et les moteurs aux trois branches.

Les ingénieurs de l'administration des chemins de fer ont cru devoir exiger cette disposition pour assurer la régularité de la lumière.

Quand on utilise un système semblable de distribution, on peut recourir supplémentairement à des génératrices monophasées pour l'éclairage; celles-ci ont cependant l'inconvénient d'une puissance plus faible à poids égal. Le rapport des puissances à poids égal est de 58 %.

L'usine de Dresde comporte en ce moment quatre génératrices de 300 chevaux chacune, servant de volants à des machines à vapeur tandem; celles-ci, du système Höfner, ont une puissance nominale de 300 chevaux effectifs, mais sont capables d'en développer 330, le cas échéant. Les machines à vapeur tournent à raison de 100 révolutions par minute et sont à détente variable par le régulateur. Un dispositif spécial permet de régler la vitesse, du tableau de distribution, et de l'amener à la valeur exacte du synchronisme, pour effectuer l'accouplement des alternateurs en parallèle. Un petit moteur électrique logé près du mécanisme de distribution peut agir sur le contrepoids du régulateur de façon à en modifier l'efficacité. Le croquis ci-joint donne une idée de la disposition.

Le moteur peut tourner dans les deux sens et permet d'obtenir ainsi un réglage parfait de la vitesse.

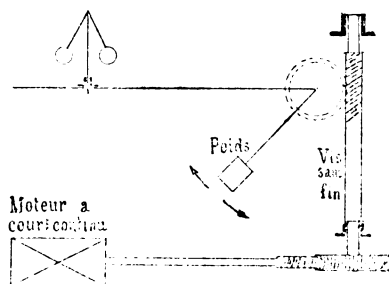


Fig. 8.

Les excitatrices des alternateurs sont disposées sur l'arbre même de ceux-ci; elles servent à la fois à l'excitation des génératrices, à l'alimentation des petits moteurs de régularisation de vitesse des machines à vapeur et à l'éclairage de la station.

Les dynamos triphasées sont à basse tension à la demande de l'administration des chemins de fer, qui redoutait la manipulation à la station d'engins à tension élevée. On transforme de 110 volts en 3 000 volts pour les réseaux.

L'unité choisie pour les transformateurs est 100 kilowatts. Dans les locaux où le courant doit être utilisé, on fait des stations secondaires de transformateurs avec les unités de 50 kilowatts au minimum.

Toutes les excitatrices peuvent être branchées sur un même réseau, sur lequel sont dérivés les circuits inducteurs des alternateurs dont on règle le courant au moyen de rhéostats.

Les câbles qui relient les alternateurs aux tableaux de distribution sont portés sur des piliers en treillis.

Les tableaux sont partagés en deux groupes distincts, se rapportant l'une à la haute tension, l'autre à la basse tension et au réglage des alternateurs.

Sur le tableau de basse tension sont placés pour chaque alternateur :

- a) Un interrupteur tripolaire général.
- b) Un interrupteur simple d'excitation, à rupture sur charbon.
- c) Un interrupteur bipolaire servant à connecter l'excitatrice correspondante aux barres communes d'excitation.
- d) Un rhéostat d'excitation pour l'excitatrice.
- e) Un rhéostat de champ magnétique pour l'inducteur de l'alternateur.
- f) Un kilowattmètre.
- g) Un ampèremètre dans le circuit à lumière.
- h) Un ampèremètre pour l'excitatrice.
- k) Un ampèremètre dans l'excitation de l'alternateur.

Le panneau central de ce tableau porte les appareils de mesure généraux et les appareils de couplage, soit :

- 1° Un voltmètre de grand modèle sur le circuit de lumière et un voltmètre de petit modèle sur les autres circuits.

Ces voltmètres peuvent être reliés à volonté à l'un ou l'autre alternateur au moyen d'interrupteurs à directions multiples. L'indicateur de phases comporte simplement deux lampes à incandescence, dont la connexion aux alternateurs à coupler en parallèle est la suivante.

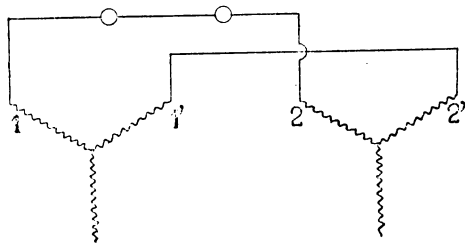


Fig. 9.

En face de ce tableau se trouve le tableau de haute tension qui ne porte que le strict nécessaire, c'est-à-dire un interrupteur par feeder au circuit principal, un ampère-mètre, des sûretés et enfin des indicateurs de terre d'un modèle nouveau; ce sont des électromètres Kelvin à haut voltage dérivés entre chacun des conducteurs et la terre; en conséquence, ils donnent une indication tant qu'une perte à terre ne s'est pas produite sur le câble correspondant.

Les sûretés générales sont des fils de cuivre minces, placés dans des tubes de verre remplis de talc.

Le champ d'action de cette station s'étend dans un rayon de six kilomètres. Les moteurs sont très nombreux. Un d'eux actionne une pompe centrifuge logée au fond d'un puits de 9 mètres de profondeur; le moteur est placé à la surface. Les autres moteurs actionnent soit par engrenages, soit par courroies, les gros outils de l'atelier des réparations, des ascenseurs, des transbordeurs de locomotives, des ponts roulants, et l'on installe en ce moment des grues électriques avec moteurs de 45 chevaux. Toutes les lignes à haute tension sont aériennes, avec réseaux de garde à la partie inférieure du faisceau de fils de ligne.

Il est important de signaler que l'éclairage de la gare centrale des chemins de fer Saxons est faite au moyen de lampes à arc placées sur les réseaux communs à la puissance motrice et à la lumière. Cet éclairage est particulièrement brillant et fixe.

Les locaux intérieurs de la gare sont partiellement éclairés à l'incandescence; nous y avons noté la même régularité.

A notre demande, on a exécuté en notre présence des accouplements d'alternateurs en parallèle. Le régulateur

spécial de vitesse, manœuvré du tableau de distribution et qui met la nouvelle machine au point, ainsi que l'indicateur de phase, permettent un accouplement aussi facile, sinon plus simple, que celui de machines à courant continu de haute tension.

USINE ÉLECTRIQUE DE CHEMNITZ (SAXE). — Cette usine ne comporte en ce moment que 450 chevaux, mais on l'agrandit pour l'amener à une puissance de 1000 chevaux.

Comme dans toutes les installations polyphasées de Siemens, le courant est distribué sous la forme triphasée et engendré par des alternateurs donnant 2 000 volts dans chaque branche du réseau. Les lampes et les moteurs sont répartis sur les trois phases.

Les chaudières de la station centrale sont du système Steinmüller avec chargeur automatique du combustible.

Les machines à vapeur sont du type vertical, à triple expansion, et pourvues d'un régulateur spécial de vitesse identique à celui utilisé à Dresde.

Les trois alternateurs sont attaqués directement par les machines à vapeur; chaque alternateur peut développer une puissance de 150 chevaux et fonctionne à la tension de 2 000 volts.

Le tableau de distribution est plus simple encore que celui de Dresde; *l'Industrie Electrique* en a donné une description sommaire à laquelle nous renvoyons le lecteur.

Les canalisations sont souterraines et comportent des câbles concentriques de la maison Siemens et Halske, avec isolement au papier.

Les transformateurs ont trois noyaux et sont au nombre de 24 répartis dans la ville de Chemnitz; ils sont en général de 50 kilowatts chacun et logés dans les kiosques utilisés également pour la réclame. La nuit, le ronflement des transformateurs est très sensible.

Tous les réseaux primaires sont reliés entr'eux, de même que tous les secondaires. Le rayon d'action d'un transformateur est au maximum de 500 mètres et la perte admise dans les calculs de  $1\frac{1}{2}\%$  pour chaque dérivation.

La perte maxima consentie sur les réseaux primaires, les transformateurs y compris, est de  $4\%$ ; cette perte représente la variation de voltage aux bornes des secondaires des transformateurs, de charge nulle à charge maxima.

On règle le voltage de 2 000 volts à la station d'après celui du réseau secondaire pris aux bornes des transformateurs. A cet effet, une bobine spéciale est enroulée sur l'armature fixe des machines et calculée de façon à donner 25 volts; pour tenir compte du décalage et pour permettre la mise en phase à l'aide de cette bobine, un transformateur de rapport  $1/1$  retransforme ces 25 volts en un voltage décalé dans la même proportion que le voltage du réseau. C'est ce dernier, ramené à la station par fils pilotes, qui sert de base à l'accouplement en parallèle des alternateurs. On s'aide, comme à Dresde, du voltmètre, de l'indicateur de phase et du régulateur spécial de vitesse pour effectuer l'accouplement.

Le tableau est moins soigné que celui de Dresde; les interrupteurs de haute et basse tension y sont mêlés. En ce qui concerne les interrupteurs de haute tension on n'a pas, comme à Dresde, ménagé de grands intervalles isolants aux interrupteurs, ce qui a occasionné, en cas de mauvaise manœuvre, la circulation d'étincelles sur le tableau. A Dresde, les interrupteurs de haute tension sont derrière le tableau et manœuvrés à distance par les leviers.

Les kiosques de transformateurs sont au nombre de 24, répartis dans les rues de la ville.

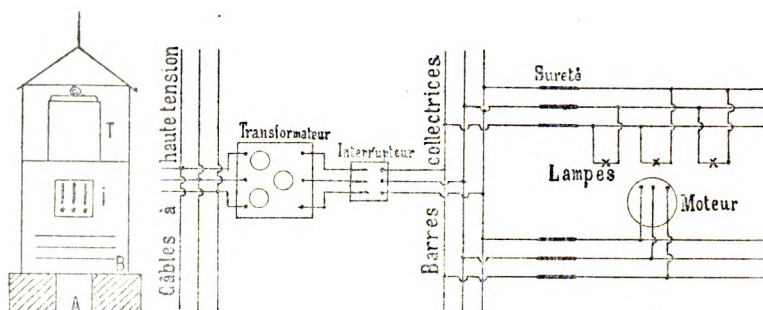


Fig. 10.

On trouve à l'intérieur le transformateur T qui occupe la partie supérieure, un interrupteur tripolaire I, des barres collectives de basse tension B; les câbles arrivent par le soubassement et sont réunis aux barres par des sûretés générales.

L'éclairage est réalisé par des groupes de trois arcs en série sur 110 à 120 volts, sans addition de résistances, ou

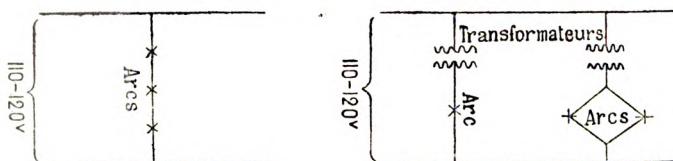


Fig. 11.

bien au moyen de petits transformateurs pour une ou deux lampes en parallèle.

Nous nous sommes renseignés très exactement chez les particuliers relativement à la marche des moteurs en service sur les réseaux de la ville et à la régularité de la lumière là où elle est employée séparément ou simultanément avec la force motrice. Voici les renseignements recueillis dans quelques-unes des installations visitées.

A) Application chez un charcutier d'un moteur de 10 chevaux pour le hachage de la viande et la fabrication des saucisses.

Ce moteur attaque une transmission intermédiaire, et les mêmes câbles qui amènent le courant au moteur fournissent également la lumière dans le magasin et dans les ateliers. Le propriétaire qui produisait auparavant lui-même la force motrice et la lumière, trouve sa nouvelle installation avantageuse.

La lumière et la puissance lui sont vendues à des prix différents, au moyen de compteurs séparés.

La puissance est comptée à raison de 18 pf. le K. W. H.

La lumière               »               »               70 » le K. W. H.

B) Une teinturerie emploie un moteur de trois chevaux pour actionner une petite pompe et un ascenseur ; le moteur est le seul de toute la ville qui possède un rhéostat dans les inducteurs ; on exige maintenant partout des rhéostats dans l'induit. La variation constatée dans la lumière au moment du démarrage est cependant insignifiante ; le client ne s'en plaint nullement. Aux essais de mise en marche on a constaté une variation de 1,5 volt du voltage.

La Compagnie n'accepte les moteurs étrangers à sa fabrication qu'à la condition que la variation de voltage au démarrage soit inférieure à 2 %.

C) Dans une boulangerie, un moteur de trois chevaux actionne des pétrins mécaniques et différents appareils d'un usage courant pour la confection des pâtisseries. Le client est très content ; aucune variation de lumière ne se remarque au démarrage ou à l'arrêt du moteur.

D) Nous avons également rencontré l'emploi des moteurs triphasés à la mise en mouvement d'essoreuses dans une teinturerie ; on semblait satisfait de leur marche.



E) Durant une heure environ, nous avons examiné la lumière à incandescence d'un restaurant, branchée sur les réseaux de l'usine électrique; nous n'avons pu remarquer aucune variation, la lumière était parfaitement fixe.

CONCLUSIONS. — Nous avons décrit ces deux installations, comme nous aurions pu en décrire d'autres que nous avons vues en Suisse, et qui sont faites par des firmes diverses, pour montrer que l'on peut considérer comme résolu le problème de l'alimentation simultanée des moteurs et des lampes sur les réseaux polyphasés. Les conditions du succès sont :

1) L'emploi des génératrices à faible réaction d'induit, d'une puissance suffisante par rapport à celle des moteurs.

2) La limitation entre des bornes convenables de la perte de tension dans les câbles, et

3) L'usage de moyens de démarrage des moteurs permettant de ne pas dépasser les courants normaux.

On peut dire qu'avec ces précautions, les distributions par courants polyphasés donnent des résultats aussi satisfaisants, quant à la régularité, que celles à courant continu, avec l'énorme avantage d'utiliser les transformateurs pour les transmissions à grande distance et de supprimer le collecteur divisé des moteurs continus.

**M. Mélotte**, *président*, remercie vivement les auteurs de la communication très intéressante et très précieuse qu'ils nous ont faite de leurs notes de voyage. M. Henrard, qui s'occupe de l'exploitation des forces motrices du Rhône à Lyon, a fait, avec M. Gerard, une scrupuleuse enquête sur les moyens les plus nouveaux du transport électrique de l'énergie. Je n'ai pas à insister sur la valeur technique des avis qui sont la conclusion d'une telle enquête. (*Applaudissements.*)

L'heure étant avancée, sur la proposition de M. De Bast, l'Assemblée reporte à l'ordre du jour prochain la communication que celui-ci avait annoncée au sujet des Tramways électriques.

**M. Mélotte, président.** — Avant de nous séparer, je désire appeler votre attention sur le règlement qui vient d'être publié sur l'emploi de l'électricité dans les mines. Sans doute, l'examen de ce document vous fera penser, comme moi, qu'il serait utile d'ouvrir une discussion sur certaines dispositions qui, en fait, seront prohibitives de beaucoup d'applications électriques dans l'industrie minière. Je propose donc d'inscrire cette discussion à l'ordre du jour de la prochaine séance. — Adopté.

**M. L'Hoest, secrétaire général,** pour faciliter l'examen de la question, publiera le texte du nouveau règlement à la chronique du Bulletin.

La séance est levée à midi et quart.

---

## CHRONIQUE.



### DOCUMENTS ADMINISTRATIFS.

**Emploi de l'électricité dans les mines minières, carrières et usines, régies par la loi du 21 avril 1810. — Arrêté royal du 15 mai 1895.**

#### I

INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES A LA SURFACE DES MINES, MINIÈRES ET CARRIÈRES, AINSI QUE DANS LES USINES RÉGIES PAR LA LOI DU 21 AVRIL 1810.

ART. 1<sup>er</sup>. — Les générateurs, récepteurs et transformateurs électriques seront installés dans des endroits secs et bien ventilés. Ces appareils seront parfaitement isolés, au point de vue électrique, des fondations sur lesquelles ils reposent.

ART. 2. — Dans les conditions de travail maximum, la température des différentes parties de ces appareils ne pourra dépasser, de plus de 40 degrés centigrades, la température du milieu ambiant.

On évitera, autant que possible, la production d'étincelles aux collecteurs et au balais des machines.

Des dispositions seront prises pour empêcher, lors de l'arrêt des génératrices, la circulation dans le circuit extérieur de tout extra-courant de rupture.

ART. 3. — Le retour du courant par la terre est interdit.

ART. 4. Les conducteurs aériens, nus ou isolés, seront rendus inaccessibles. Les conducteurs cachés à la vue devront être parfaitement protégés contre les accidents

mécaniques et leur position sera clairement indiquée ; ils devront pouvoir être facilement visités et réparés.

ART. 5. — L'emploi des conducteurs nus est autorisé quand la différence de potentiel entre le conducteur d'aller et celui de retour ne dépasse pas 500 volts en courant continu ou 200 volts en courant alternatif.

Dans les autres cas, ils seront recouverts d'une gaine diélectrique continue, durable et efficace.

ART. 6. — Les conducteurs nus, entre lesquels il existe une différence de potentiel, seront maintenus partout à une distance de trente centimètres au moins les uns des autres.

Au besoin, des mesures seront prises pour éviter toute dérivation accidentelle du courant.

Lorsque les fils nus passeront à proximité d'un corps conducteur, d'une masse métallique, par exemple, on interposera une matière isolante à l'abri de l'humidité.

ART. 7. — A l'exception des câbles concentriques et des câbles souples pour lampes, les conducteurs isolés d'aller et de retour seront maintenus écartés les uns des autres.

ART. 8. — A leurs points d'appui sur les supports, les conducteurs nus ou isolés seront fixés à des isolateurs.

Chaque support, s'il est en métal, sera relié à la terre et, s'il est en bois ou autre matière non conductrice, sera protégé par un paratonnerre.

ART. 9. — A l'intérieur des bâtiments, l'emploi des fils nus est interdit et la gaine diélectrique des fils isolés sera imperméable. Ces derniers seront, en outre, rendus inaccessibles quand la tension dépassera 500 volts en courant continu et 200 volts en courant alternatif.

ART. 10. — Les conducteurs devront pouvoir résister aux efforts auxquels ils seront exposés.

Partout où l'usure sera à craindre, comme à la traversée des planchers, cloisons, etc., les conducteurs seront munis d'une enveloppe protectrice en matière isolante, entourée elle-même d'une garniture résistant aux frottements et aux chocs. A la traversée des murs extérieurs et des toits, les conducteurs seront enfermés dans une gaine isolante et imperméable avec cloche ou tube introducteur destiné à empêcher la pénétration de l'eau ou de l'humidité à l'intérieur des bâtiments.

ART. II. — Les jonctions de conducteurs aux branchements et les joints seront faits avec soin ; ils ne devront pas constituer des points faibles, soit mécaniquement, soit électriquement, et leur isolement sera équivalent à celui des conducteurs.

ART. 12. — On maintiendra en état de propreté toutes les parties isolantes. On vérifiera fréquemment le parfait isolement du circuit ; à cette fin, un indicateur de terre accusant la valeur de la perte du courant sera placé à l'origine du circuit principal.

ART. 13. — La section des conducteurs sera telle que le passage accidentel d'un courant d'une intensité double de l'intensité normale ne détermine pas un échauffement supérieur à 40 degrés centigrades. Ce résultat sera, en général, obtenu pour les conducteurs en cuivre rouge, en bronze phosphoreux ou siliceux de haute conductibilité, en admettant les densités de courant suivantes par millimètre carré :

|                              |                 |                  |       |                  |
|------------------------------|-----------------|------------------|-------|------------------|
| 1 <sup>o</sup> fils nus :    | 5               | ampères de       | 1 à   | 10 millim. carr. |
|                              | 4               | id. de           | 10 à  | 50 id.           |
|                              | 3               | id. de           | 50 à  | 150 id.          |
|                              | 2 $\frac{1}{2}$ | id. de           | 150 à | 300 id.          |
|                              | 2               | id. au-dessus de | 300   | id.              |
| 2 <sup>o</sup> fils isolés : | 3               | id. de           | 1 à   | 10 id.           |
|                              | 2 $\frac{1}{2}$ | id. de           | 10 à  | 20 id.           |
|                              | 2               | id. de           | 30 à  | 50 id.           |
|                              | 1 $\frac{1}{2}$ | id. au-dessus de | 50    | id.              |

Les fils auront un diamètre minimum de 1 millimètre.

ART. 14. — Des appareils électrométriques (voltmètres et ampèremètres) seront placés à l'origine du circuit principal.

ART. 15. — Des coupe-circuits bipolaires électromagnétiques ou à métal fusible fonctionnant automatiquement dès que l'intensité du courant s'élève au double de l'intensité normale seront placés sur les conducteurs du circuit principal et de tout branchement parcouru par un courant supérieur à trois ampères.

ART. 16. — Les coupe-circuits, interrupteurs, commutateurs et rhéostats seront montés sur des supports mauvais conducteurs et incombustibles.

ART. 17. — Les rhéostats devront être entourés d'une enveloppe incombustible permettant le passage libre de l'air.

Les fils de résistances auront une section suffisante pour que l'échauffement produit par le passage du courant ne puisse amener de déformation susceptible de donner lieu à des courts-circuits.

ART. 18. — Les coupe-circuits à métal fusible devront être disposés de telle sorte que la fusion du métal ne détermine pas de court-circuit et ne donne pas lieu à des projections.

Les pièces fusibles seront marquées d'un chiffre bien apparent indiquant le courant normal pour lequel elles sont établies.

ART. 19. — On disposera les interrupteurs et commutateurs de manière à éviter la production d'arcs permanents.

Les interrupteurs devront assurer un bon contact et ne pas s'échauffer par le passage du courant; à cette fin, ces appareils seront à frottement et les surfaces de contact

seront calculées à raison d'un minimum de 5 millimètres carrés par ampère. Tous les interrupteurs et commutateurs par courants supérieurs à 10 ampères seront bipolaires.

ART. 20. — Il est interdit de déposer des matières combustibles, inflammables ou explosives à proximité des conducteurs, machines électriques, transformateurs, coupe-circuits, interrupteurs, commutateurs et rhéostats.

ART. 21. — Toute élévation exagérée de température du circuit sera immédiatement combattue en diminuant la vitesse des machines ou en introduisant dans le circuit une résistance auxiliaire.

ART. 22. — Un parafoudre sera placé à l'origine du circuit principal sur les conducteurs d'aller et de retour.

ART. 23. — Les locaux dans lesquels on procède à la charge des accumulateurs devront être convenablement ventilés.

On placera un disjoncteur automatique entre la dynamo génératrice et les accumulateurs.

Les liquides résiduels ne pourront être évacués qu'après complète neutralisation.

ART. 24. — Le circuit à haute tension des transformateurs devra se trouver hors d'atteinte des personnes.

Les appareils placés à l'intérieur des bâtiments devront être enfermés dans des caisses incombustibles.

On prendra les dispositions nécessaires pour éviter tout contact accidentel entre les circuits primaire et secondaire de ces appareils et pour atténuer les inconvénients qui pourraient éventuellement résulter de ce contact.

ART. 25. — Les câbles de suspension des lampes seront incombustibles et indépendants des fils conducteurs.

Les lampes à arc seront munies de globes et de cendriers.

Les bornes des lampes placées à l'extérieur seront protégées contre la pluie.

ART. 26. — Le service et l'entretien des appareils électriques ne pourront être confiés qu'à des ouvriers prudents et expérimentés.

ART. 27. — Les impétrants devront, en outre, se conformer aux prescriptions formulées par le département des chemins de fer, postes et télégraphes, en ce qui concerne le voisinage des lignes télégraphiques ou téléphoniques ou le passage au-dessus des domaines de l'Etat, comme aussi aux conditions qui leur seraient imposées par l'administration communale en vue de sauvegarder la sûreté et la commodité du passage dans les rues, places et voies publiques.

## II

INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES A LA SURFACE DES MINES A GRISOU DE LA 3<sup>e</sup> CATÉGORIE, A L'INTÉRIEUR DES BATIMENTS ABRITANT LES DIFFÉRENTS PUITES DES SIÈGES D'EXPLOITATION ET AUX ABOÛDS DE CES PUITES.

### DISPOSITIONS SPÉCIALES.

ART. 1<sup>er</sup>. — L'emploi des générateurs d'électricité est interdit.

L'emploi des récepteurs et des transformateurs électriques dépourvus de collecteurs et de balais et présentant une sécurité absolue dans les milieux grisouteux est seul autorisé.

Ces appareils seront, en outre, complètement enfermés dans des enveloppes métalliques à joints hermétiques et disposés de telle sorte que l'espace libre laissé entre un appareil et son enveloppe soit minimum.



Les ouvertures nécessaires seront munies de glaces en verre épais.

L'enveloppe extérieure ne pourra être enlevée pendant la marche de l'appareil.

ART. 2. — Les conducteurs de courant seront recouverts d'une gaine diélectrique continue, imperméable, durable et efficace. Ils seront, en outre, établis de manière à être mis à l'abri de toute détérioration accidentelle.

ART. 3. — Les coupe-circuits, interrupteurs, commutateurs et rhéostats seront enfermés dans des enveloppes métalliques continus à joints hermétiques.

Les ouvertures nécessaires seront munies de glaces en verre épais.

ART. 4. — L'emploi des lampes à arc est interdit.

Les lampes à incandescence seront enveloppées de globes en verre épais à joints hermétiques.

### III

#### INSTALLATIONS A L'INTÉRIEUR DES MINES SANS GRISOU, DES MINIÈRES ET DES CARRIÈRES SOUTERRAINES.

ART. 1<sup>er</sup>. — Les générateurs, récepteurs et transformateurs électriques seront installés dans des endroits secs et bien ventilés. Ces appareils seront parfaitement isolés, au point de vue électrique, des fondations sur lesquelles ils reposent.

ART. 2. — Dans les conditions de travail maximum, la température des différentes parties de ces appareils ne pourra dépasser, de plus de 40 degrés centigrades, la température du milieu ambiant.

On évitera, autant que possible, la production d'étincelles aux collecteurs et aux balais des machines.

Des dispositions seront prises pour empêcher, lors de l'arrêt des générateurs, la circulation dans le circuit extérieur, de tout extra-courant de rupture.

ART. 3. — Le retour du courant par la terre est interdit.

ART. 4. — L'emploi des conducteurs nus est interdit en tous les points du circuit souterrain.

La gaine diélectrique dont les conducteurs devront être recouverts, sera continue, imperméable, durable et efficace; cette gaine isolante sera elle-même protégée par une enveloppe solide et inaltérable.

ART. 5. — Toutefois, dans les galeries, l'emploi des conducteurs nus par courants continus ne dépassant pas 500 volts destinés à la traction électrique, à l'exception des feeders ou conducteurs d'alimentation, est autorisé à la condition que ces conducteurs soient situés à deux mètres au moins au-dessus du sol et que le revêtement des galeries soit tel qu'il n'existe aucun danger d'incendie; ces conducteurs seront, en outre, écartés de 50 centimètres au moins les uns des autres et seront fixés à des isolateurs à l'abri de l'eau et de l'humidité.

Au besoin des mesures seront prises pour éviter toute dérivation accidentelle du courant.

Lorsque les conducteurs nus passeront à proximité d'un autre corps conducteur, d'une masse métallique par exemple, on interposera une matière isolante.

ART. 6. — A l'exception des câbles concentriques, les conducteurs isolés d'aller et de retour seront maintenus écartés les uns des autres.

ART. 7. — Des dispositions spéciales seront prises pour empêcher, d'une façon absolue, d'atteindre aux conducteurs isolés; ceux établis dans les puits seront disposés de manière à éviter toute détérioration accidentelle.

ART. 8. — Les conducteurs devront pouvoir résister aux efforts auxquels ils seront exposés.

ART. 9. — Les conducteurs cachés à la vue devront être parfaitement protégés contre les accidents mécaniques et leur position sera clairement indiquée; ils devront pouvoir être facilement visités et réparés.

ART. 10. — Les jonctions des conducteurs aux branchements et les joints sont faits avec soin; ils ne devront pas constituer des points faibles, soit mécaniquement, soit électriquement, et leur isolement sera équivalent à celui des conducteurs.

ART. 11. — On maintiendra en état de propreté toutes les parties isolantes. On vérifiera fréquemment le parfait isolement du circuit; à cette fin un indicateur de terre accusant la valeur de la perte de courant sera placé à l'origine du circuit principal.

ART. 12. — La section des conducteurs sera telle que le passage accidentel d'un courant d'une intensité double de l'intensité normale ne détermine pas un échauffement supérieur à 40 degrés centigrades. Ce résultat sera en général obtenu pour les conducteurs en cuivre rouge, en bronze phosphoreux ou siliceux de haute conductibilité, en admettant les densités de courant suivantes par millimètre carré :

|       |         |                 |                     |
|-------|---------|-----------------|---------------------|
| 3     | ampères | de 1 à 10       | millimètres carrés. |
| 2 1/2 | id.     | de 10 à 20      | id.                 |
| 2     | id.     | de 20 à 50      | id.                 |
| 1 1/2 | id.     | au-dessus de 50 | id.                 |

Les fils auront un diamètre minimum de 1 millimètre.

ART. 13. — Des appareils électrométriques (voltmètres et ampèremètres) seront placés à l'origine du circuit principal.

*(La suite au prochain fascicule.)*

## SÉANCE DU 26 JANVIER 1896.



*Présidence de M. Mélotte, président.*



Ont signé la liste de présence : MM. Bayet, Bertholet, Calmeau, Choulguin, Crombé, De Bast, Deltenre, Del Proposto, De Ryckere, Favart, Julius, Larmoyer, L'Hoest, Masson, Mélotte, Noirfalise, Pirard, Robert, Somach.

Les procès-verbaux de séance publiés au fascicule 1-2 du *Bulletin*, ne donnant lieu à aucune observation, sont approuvés.

Le Secrétaire général donne lecture de la correspondance et dépose les ouvrages offerts :

1<sup>o</sup> Lettre du Cabinet du Roi, en réponse à l'envoi du Bulletin de 1894-1895.

2<sup>o</sup> Brochure offerte par M. Masson, intitulée *L'électricité dans l'art des Mines en Allemagne*. (Remercîments).

3<sup>o</sup> Don d'une brochure de M. Libert contenant le *Règlement sur l'emploi de l'électricité dans les Mines*. (Id.).

La parole est donnée à **M. De Bast**.

Messieurs et chers Camarades,

En réunissant les notes dont je vais vous exposer aujourd'hui la première partie, je n'avais pas l'intention d'en faire l'objet d'une conférence à cette Association. Rédigées en leçons pour le cours d'électricité pratique de l'École industrielle, elles visent spécialement les électriciens chargés du montage et de la conduite des appareils électriques. Vous n'y trouverez aucune de ces considérations d'ordre supérieur qui doivent surtout préoccuper

les ingénieurs. En vous les exposant, sur les instances de quelques camarades, j'ai cependant une excuse : l'espoir que la description du matériel utilisé à la traction électrique et l'examen des procédés de mise en œuvre des appareils pourront vous intéresser, et que cette communication, reproduite au *Bulletin*, pourra vous épargner, à l'occasion, les recherches fastidieuses auxquelles j'ai dû moi-même me livrer, dans les revues techniques et par la visite d'installations, pour recueillir les divers renseignements.

Vous excuserez, je l'espère, les considérations générales, familières à tous les anciens élèves de l'Institut Montefiore, qui servent à introduire et à relier entr'elles les différentes parties du sujet, qu'on pourrait intituler :

### **La pratique actuelle des installations de tramway électrique.**

La traction électrique constitue un cas particulier du transport et de la distribution de la puissance mécanique, caractérisé par la mobilité des machines réceptrices. Son application aux tramways, qui a acquis, dans ces derniers temps, un développement considérable, exige une étude spéciale, eu égard aux nombreuses particularités qu'elle présente.

Dans la généralité des installations de tramway électrique, le service de transport des voyageurs est effectué par des voitures automobiles pourvues d'un ou de plusieurs électromoteurs actionnant les roues. L'énergie électrique, engendrée par les machines fixes de la station centrale, est amenée à ceux-ci soit directement par un conducteur aérien ou souterrain longeant la voie et avec lequel les récepteurs sont maintenus en communication par l'intermédiaire de contacts glissants, soit indirecte-

ment par l'emploi de batteries d'accumulateurs, logées dans les voitures et ramenées périodiquement à la station génératrice pour être rechargées.

Comme le dernier mode d'alimentation des moteurs n'a, jusqu'ici, fait l'objet que de quelques tentatives sans grand succès, et comme, en outre, il n'existe actuellement que de très rares installations du premier genre où le conducteur de prise de courant est logé sous terre, nous n'envisagerons, dans ce qui suit, que le seul cas de la prise de courant aérienne.

Rappelons d'abord, en ses grandes lignes, l'économie du système tel qu'il est généralement appliqué.

Les dynamos génératrices de la station centrale, associées en dérivation, sont reliées par un de leurs pôles communs, directement ou par l'intermédiaire de *feeders*, à un fil métallique, dit *fil de trolley*, tendu au dessus de la voie ferrée, parallèlement à celle-ci. Les voitures sont surmontées d'un long *mât* terminé supérieurement par un contact glissant sous le fil tout le long du parcours. Ce contact est souvent constitué par un galet à gorge ou *trolley*. Ainsi est assurée l'alimentation continue des électromoteurs mobiles, au sortir desquels le courant électrique passe, par les roues, dans les rails, pour retourner à la station par ceux-ci et la terre, auxquels est connecté le second pôle commun des dynamos génératrices. Ces dernières maintiennent une différence de potentiel sensiblement constante et, le plus souvent, voisine de 500 volts, entre le fil de trolley et les files de rails. L'énergie électrique est ainsi distribuée en dérivation aux diverses voitures en service sur la ligne.

Les électromoteurs utilisés pour actionner les roues des voitures sont des machines excitées en série. Le choix de ce mode d'excitation est justifié par la nécessité de pouvoir développer un couple moteur très énergique pour le

démarrage. L'expérience montre, en effet, que le couple résistant à vaincre peut atteindre, au démarrage, quatre à cinq fois la valeur du couple en marche normale. Celui-ci dépend d'ailleurs de la nature de la voie et de l'état des rails; il croît avec le poids de la voiture et avec la charge transportée; il est augmenté en rampe et diminué en pente d'une quantité proportionnelle à l'inclinaison de la voie; enfin, les deux roues d'un essieu étant calées sur celui-ci, le patinage forcé de l'une d'elles en courbe, ainsi que le frottement des boudins des roues contre les rails, occasionné par le parallélisme des essieux, majorent encore le couple résistant, et d'autant plus que le rayon de la courbe est moindre. Il s'ensuit que l'intensité du courant électrique à fournir aux moteurs de tramway est extrêmement variable.

Suivant l'importance du trafic et le profil de la voie, les voitures, qui sont ordinairement montées sur quatre roues, sont pourvues d'un seul électromoteur attaquant un des essieux, ou de deux machines actionnant chacune une des paires de roues. Il ne suffit pas, en effet, que le moteur unique d'une voiture soit capable de développer un couple moteur supérieur au plus grand couple résistant à vaincre, il faut encore qu'au moment où celui-ci se produit les roues commandées ne patinent pas, c'est-à-dire adhèrent suffisamment aux rails. Or, leur adhérence dépend, entr'autres, du poids qui charge l'essieu moteur et qui n'atteint guère que la moitié du poids total du véhicule avec ses voyageurs.

On pourrait utiliser tout le poids pour l'adhérence, en répartissant l'effort moteur entre les deux paires de roues par un accouplement mécanique de celles-ci; mais on préfère généralement recourir, dans ce but, à l'emploi de deux moteurs, chacun de puissance moitié moindre. En

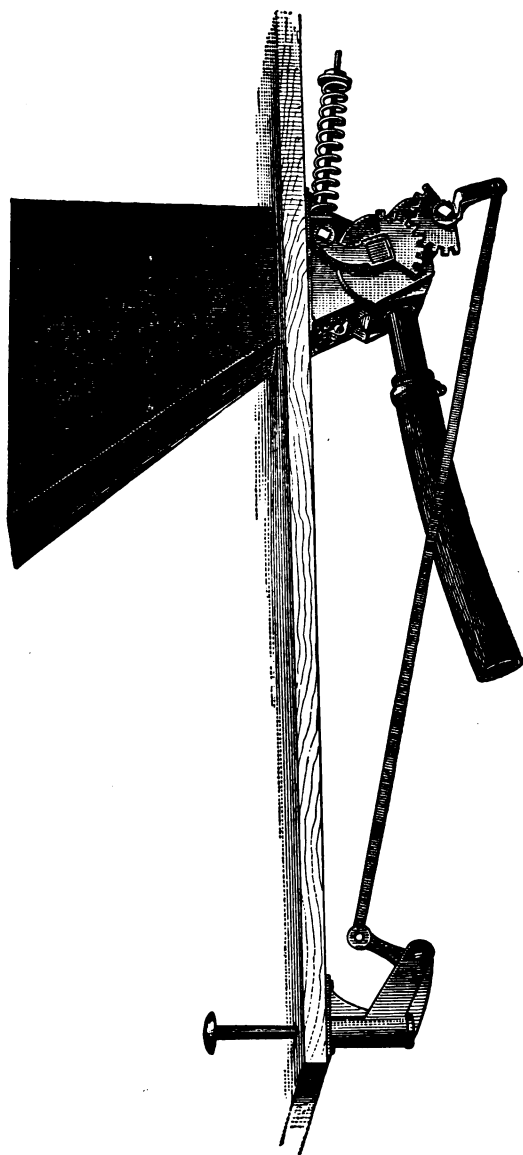


Fig. 1.



cas d'avarie à l'un des moteurs, l'autre peut, seul, ramener la voiture vide au dépôt.

Il est souvent possible d'arrêter le patinage au démarrage, occasionné par une surcharge inusitée de voyageurs ou par l'état glissant des rails, en projetant du sable sec sous les roues. A cet effet, on munit les voitures de boîtes à sable que le conducteur peut ouvrir en poussant du pied sur un bouton saillant au dessus du plancher de la plateforme (fig. 1).

La pratique la plus fréquente consiste à loger les électromoteurs entre les deux essieux, sous le plancher de la voiture dont la caisse est supportée, sur un truc indépendant, par des ressorts destinés à empêcher la propagation des trépidations et des chocs que reçoit ce dernier. La carcasse de chaque moteur repose d'une part, par des coussinets, sur l'essieu que la machine entraîne et est suspendue, d'autre part, par des intermédiaires élastiques, le plus souvent par des ressorts à boudin en acier, à une traverse du truc.

Le mouvement de l'induit est communiqué aux roues par un engrenage cylindrique, comprenant un pignon en acier porté par l'arbre du moteur et une roue dentée en fonte calée sur l'essieu, ou bien par une roue hélicoïdale en bronze montée sur celui-ci et engrénant avec une vis sans fin en acier terminant l'arbre de la machine. Ce sont là les deux modes de transmission du mouvement, avec réduction de vitesse, les plus employés actuellement pour faire tourner les essieux à la vitesse usuelle d'une centaine de tours environ par minute. Dans le premier cas, l'arbre de l'induit est disposé parallèlement à l'essieu et l'on utilise des moteurs effectuant normalement 400 à 500 révolutions par minute; dans le second cas, l'arbre est perpendiculaire à l'essieu et la vitesse des moteurs

peut s'élever à un millier de tours. Les engrenages sont baignés dans l'huile pour amoindrir l'usure et le bruit.

L'emplacement des moteurs près du sol expose ces appareils aux atteintes de la poussière, de l'eau et de la

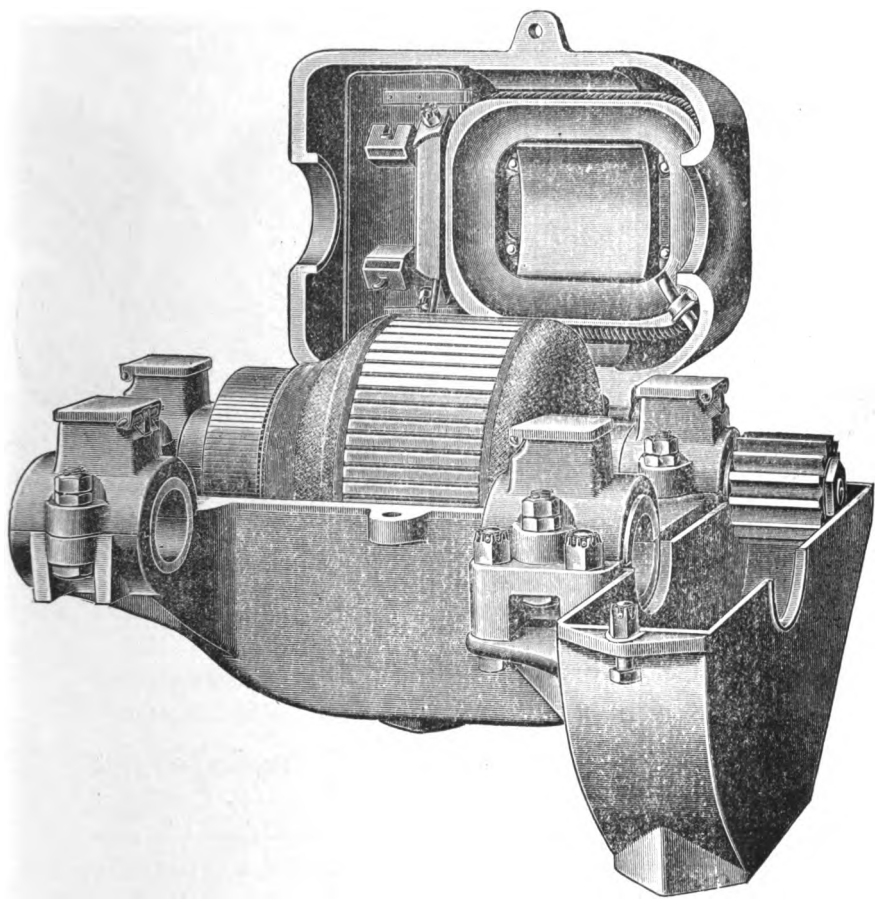


Fig. 2.

boue. Pour éviter les accidents, tels que courts-circuits, qui pourraient en résulter, il convient d'abriter convenablement les parties actives. Non seulement les enrou-

lements de l'induit et des bobines excitatrices sont protégés par un revêtement de toile imperméable et incombustible, mais les électromoteurs de tramway sont généralement construits de telle manière que la carcasse de l'inducteur enveloppe complètement ces organes, ainsi que le collecteur et ses balais.

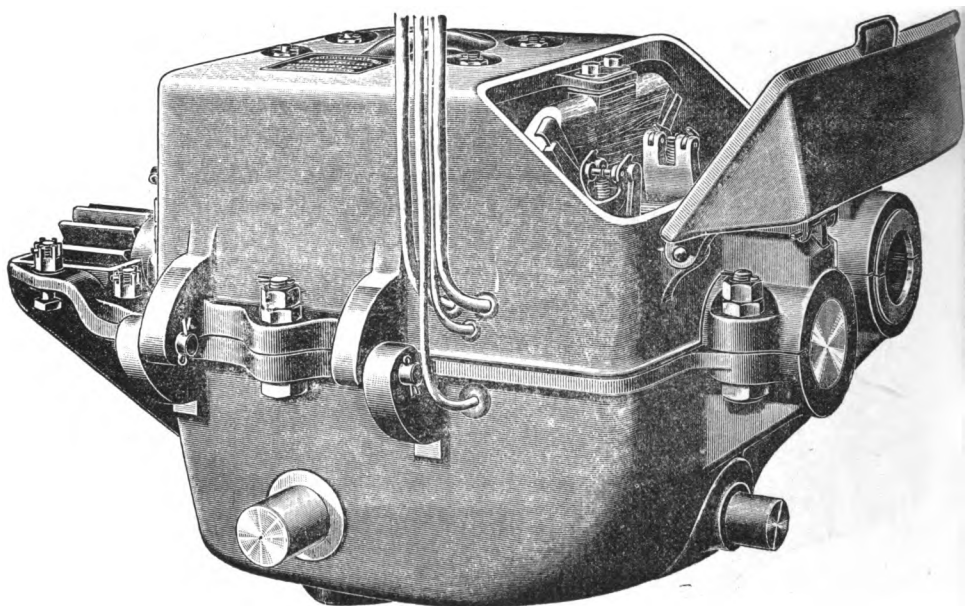


Fig. 3.

Parmi les modèles le mieux conçus de l'espèce, on peut citer les *moteurs waterproof* Thomson-Houston. Les fig. 2 et 3 en représentent le type courant tétrapolaire. L'armature est entourée de quatre noyaux inducteurs, très peu saillants pour restreindre le volume de la machine et reliés entr'eux par une culasse en forme de caisse, dont la moitié supérieure, pivotant sur charnières, peut être relevée de manière à découvrir l'induit. Le premier dessin montre le

moteur ainsi ouvert. Le noyau inducteur supérieur et le noyau inducteur inférieur, de même polarité, portent seuls des bobines excitatrices élargies dans lesquelles tourne l'induit. On voit, à l'avant de la fig. 2, les deux paliers par lesquels l'appareil repose sur l'essieu qu'il actionne, et, sur le côté, la partie inférieure de la boîte qui enferme l'engrenage cylindrique utilisé. A l'arrière, la carcasse présente vers le bas une saillie par laquelle la machine est suspendue au truc. La suspension est élastique pour adoucir les chocs lors des brusques changements du couple moteur, en permettant à la carcasse de tourner légèrement autour de l'essieu. Un couvercle amovible donne accès au collecteur et aux balais, quand la carcasse est fermée. Les balais, au nombre de deux seulement, sont constitués par des blocs de charbon appuyant normalement sur le collecteur et permettant la rotation de l'armature dans les deux sens. Eu égard à la fréquence et à la soudaineté des variations du courant absorbé, on ne peut songer à corriger continuellement le calage des balais pour éviter les crachements: aussi les porte-balais sont-ils fixes et les balais demeurent-ils calés suivant la ligne neutre.

Le service des moteurs de tramway, fortement cahotés et soumis à des charges très irrégulières, est particulièrement rude. Ces machines, très exposées et qui fatiguent beaucoup, doivent être l'objet de fréquentes visites; il importe, dans ce but, que leurs diverses parties soient aisément accessibles et qu'elles puissent être démontées rapidement pour effectuer les réparations.

Les moteurs Thomson-Houston satisfont à ces exigences. Après avoir ouvert la trappe pratiquée dans le plancher de la voiture au dessus de la machine, on peut examiner à loisir le collecteur et les balais en enlevant le couvercle ad hoc. Le relèvement de la moitié supé-

rière de la carcasse découvre l'induit et la bobine excitatrice du haut ; si l'on défait ensuite les chapeaux des paliers de l'arbre, on peut soulever l'armature et atteindre la bobine excitatrice du fond. Le moteur est d'un accès tout aussi facile par le bas, quand la voiture est amenée au dessus de la fosse de visite du dépôt. Il suffit de défaire l'attache au truc et de laisser basculer le tout autour de l'essieu : on peut alors ouvrir la carcasse. Désire-t-on retirer complètement la machine et la descendre dans la fosse, on enlève, en outre, les chapeaux des paliers qui la retiennent à l'essieu et la partie supérieure de la boîte à l'huile de l'engrenage.

• Pour faire démarrer une voiture, il convient de n'appliquer aux moteurs qu'une différence de potentiel initiale réduite, de crainte qu'en l'absence de force contre-électromotrice, le courant absorbé atteigne une intensité dangereuse pour la conservation des machines. Dans le but de modifier la vitesse de marche, on peut agir sur la différence de potentiel ou sur l'excitation des inducteurs. L'accroissement de la première et la réduction de la seconde provoquent une accélération de vitesse. Les deux moyens sont d'ailleurs souvent mis en œuvre simultanément.

Dans le cas où la voiture ne possède qu'un seul électromoteur, on se contente parfois d'intercaler à la suite de celui-ci un rhéostat mis entièrement en circuit lors du démarrage et qu'on retire ou introduit progressivement pour accélérer ou ralentir l'allure du véhicule. Dans le modèle de rhéostat Thomson-Houston, les touches de contact de l'appareil, qui est logé sous la voiture, sont disposées circulairement et le frotteur glissant sur elles est manœuvré, de chaque plateforme, au moyen d'une manivelle dont le mouvement est transmis par cordes à un tambour monté sur l'axe de rotation du flotteur. Au

moment où, après avoir inséré toute la résistance, le frotteur quitte la dernière touche pour rompre le circuit et arrêter la voiture, l'arc de rupture est soufflé par un électro-aimant, comme dans le parafoudre Thomson-Houston, de manière à éviter la détérioration rapide des pièces de contact.

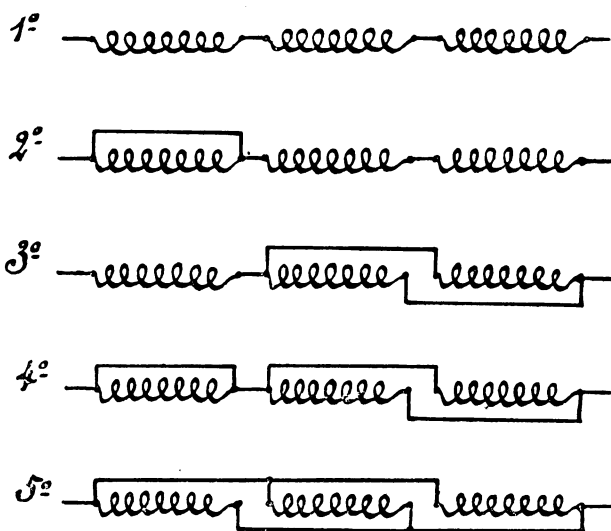


Fig. 4.

Ce procédé de contrôle par simple rhéostat, exigeant le maintien en circuit presque continu d'une fraction plus ou moins importante de celui-ci, entraîne une dissipation d'énergie considérable par effet Joule.

Aussi, préfère-t-on généralement n'utiliser de rhéostat que pour le démarrage et, après sa suppression, réaliser les diverses vitesses de service de la manière suivante : l'enroulement de l'inducteur est fractionné en plusieurs sections qu'on groupe différemment entr'elles en série ou en dérivation.

Si, par exemple, il y a trois sections, les combinaisons ci-après indiquées (fig. 4) :

- 1° 3 sections en série,
- 2° 2 sections en série, la 3<sup>e</sup> étant mise en court-circuit,
- 3° 1 section en série avec les 2 autres groupées en quantité,
- 4° 2 sections en dérivation et la 3<sup>e</sup> en court-circuit,
- 5° 3 sections en quantité,

effectuées dans l'ordre d'énumération, peuvent conduire à des vitesses croissantes, en augmentant la différence de potentiel disponible au balais de l'induit par la réduction graduelle de la résistance de l'enroulement exciteur et en affaiblissant le champ magnétique dans l'entrefer par la diminution du nombre d'ampères-tours inducteurs.

Ces diverses combinaisons peuvent être obtenues simplement par le conducteur de la voiture, de l'une ou de l'autre plateforme, si l'on place sur chacune de celles-ci un *controller* constitué par un cylindre isolant garni de blocs métalliques reliant convenablement entr'eux, à mesure qu'on fait tourner le cylindre à l'aide d'une manivelle, des ressorts de contact raccordés aux extrémités des trois bobines magnétisantes.

Quand il y a deux électromoteurs par voiture, il est inutile de sectionner les enroulements inducteurs ; on peut obtenir les variations de vitesse requises en disposant les machines diversement par rapport au circuit d'alimentation et en shuntant convenablement les bobines magnétisantes.

C'est ainsi que le *controller* employé, dans ce cas, par la General Electric Co, réalise successivement les combinaisons de la fig. 5, quand le conducteur de la voiture déplace la manivelle de la position de repos vers celle correspondant à la vitesse maxima :

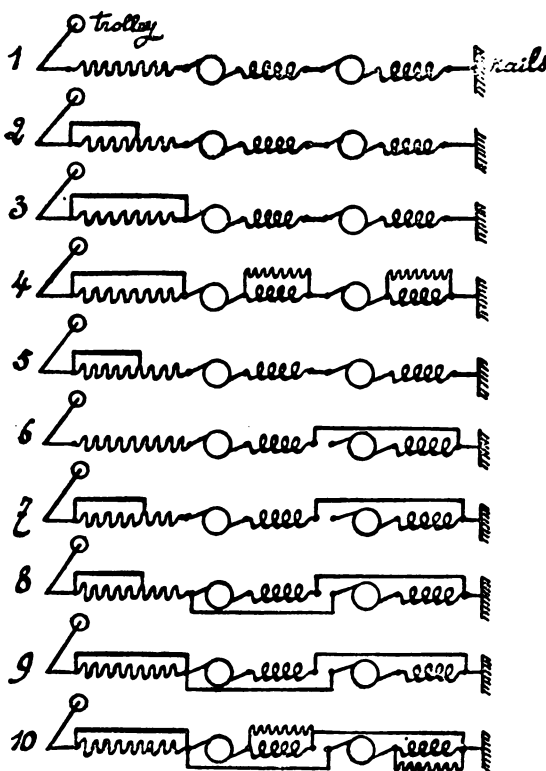


Fig. 5.

0° le circuit des moteurs de la voiture est isolé ;

1° le trolley de prise de courant est relié à une résistance de démarrage disposée en série avec les deux machines elles-mêmes groupées en tension, l'inducteur du dernier moteur étant mis en communication avec les rails ;

2° la majeure partie de la résistance de démarrage est mise en court-circuit ;

3° toute cette résistance est en court-circuit ;

4° les enroulements des inducteurs sont en outre shuntés ;



5° comme dans la seconde position de la manivelle, les deux machines, avec les inducteurs sans shunts, sont en série à la suite de la résistance de démarrage réduite ;

6° un seul moteur est en circuit avec tout le rhéostat de démarrage ;

7° la résistance de celui-ci est réduite ;

8° les deux moteurs sont groupés en dérivation à la suite de la résistance de démarrage réduite ;

9° le rhéostat de démarrage est entièrement mis en court-circuit ;

10° les enroulements des inducteurs sont munis de leurs shunts.

Les combinaisons 1 et 2 ne doivent être utilisées que pour le démarrage ; de même, les groupements 5, 6, 7 et 8 ne sont que transitoires, leur intermédiaire ayant seulement pour but de graduer la transition d'un régime au suivant, afin d'éviter les chocs. Les vitesses de régime seront réalisées de préférence en maintenant la manivelle de manœuvre dans les positions effectuant les combinaisons 3, 4, 9 et 10, qui suppriment toute résistance en série avec les machines et fournissent par suite les conditions de marche les plus économiques. Le rhéostat de démarrage est d'ailleurs peu important, le groupement en série initial des moteurs réduisant de moitié la différence de potentiel appliquée aux bornes de chacun d'eux. Avec des moteurs Thomson-Houston de 20 chevaux et une tension de distribution de 500 volts, la General Electric C° emploie un rhéostat de démarrage de 6,1 ohms, dont la résistance peut être réduite à 1,1 ohm, et le shunt dérivé sur l'enroulement inducteur de chaque machine mesure 1,2 ohm.

Ces résistances, disposées sous la caisse de la voiture, sont constituées par des bandes en fer isolées par l'inter-

position de lanières en asbeste et serrées dans un châssis isolant et incombustible.

En manœuvrant la manivelle du controller, il ne faut pas précipiter les mouvements mais s'arrêter un instant dans chaque position intermédiaire, de manière à éviter les chocs. La manivelle entraîne une aiguille indicatrice au dessus d'un cadran sur lequel les diverses positions sont repérées. C'est surtout en provoquant le démarrage qu'il faut procéder lentement.

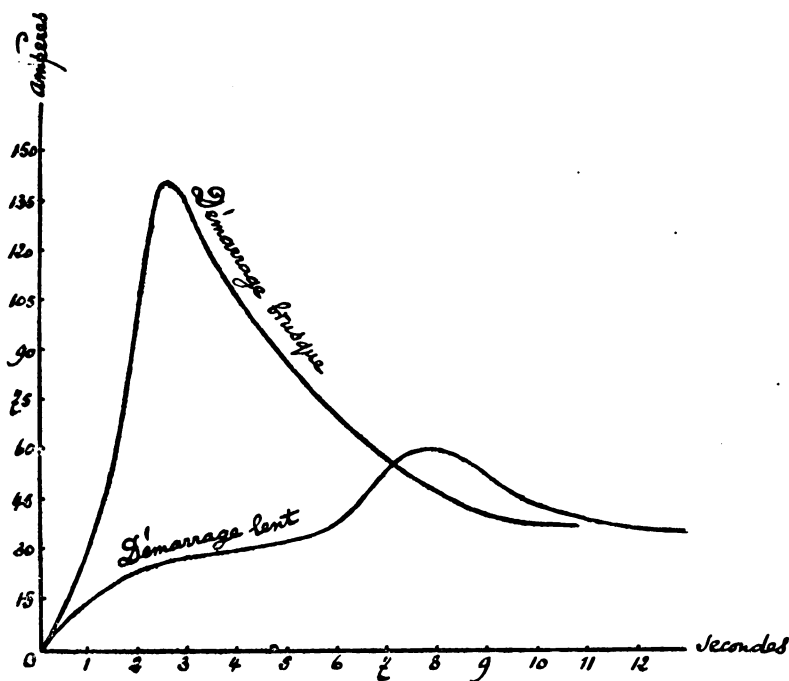


Fig. 6.

Si l'on dépasse trop vite les premiers repères du cadran, on envoie dans les moteurs un courant exagéré en appliquant à ceux-ci une différence de potentiel trop grande

avant que leur force contre-électromotrice ait acquis une valeur suffisante. Il en résulte un effort considérable imposé aux électromoteurs, une dissipation coûteuse et inutile d'énergie due à l'accroissement de l'effet Joule tant dans les appareils de la voiture que dans les conducteurs de la distribution et les dynamos génératrices, une forte chute de voltage sur la ligne et une surcharge momentanée des machines de la station centrale.

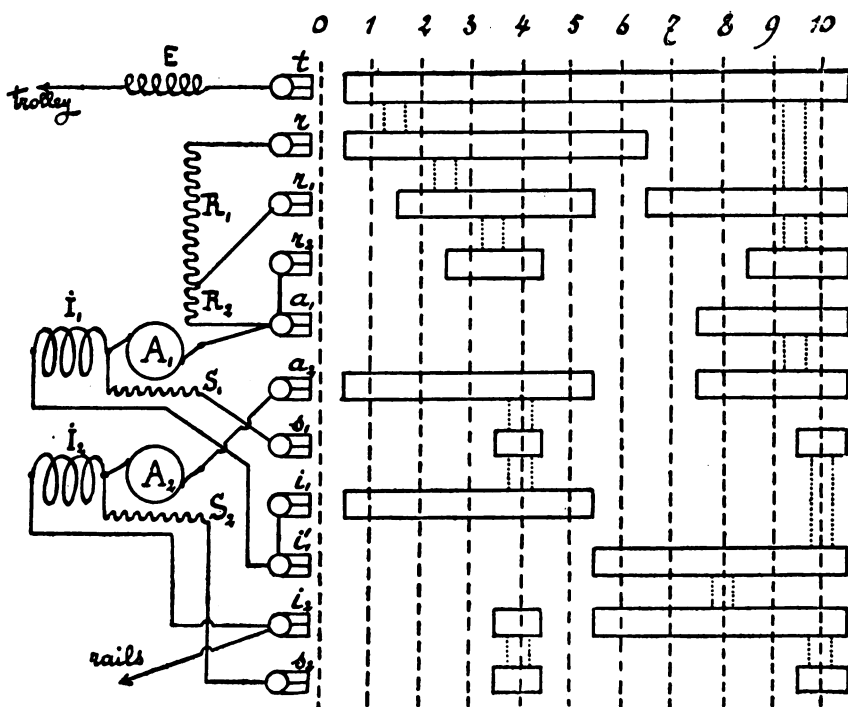


Fig. 7.

C'est d'ailleurs une erreur de croire qu'un démarrage brusque fait gagner beaucoup de temps. Les courbes du diagramme de la fig. 6 montrent les variations du courant

absorbé par une voiture lors d'un démarrage brusque et d'un démarrage lent effectués dans les mêmes conditions. Dans le premier cas, l'intensité du courant s'est élevée jusqu'à 140 ampères et l'on a atteint la pleine vitesse en

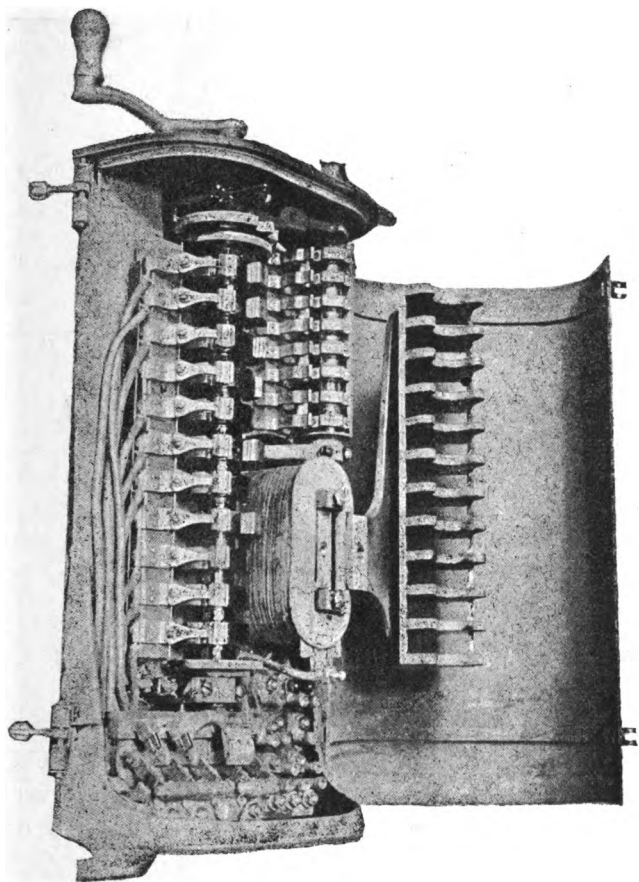


Fig. 8.

9,5 secondes; dans le second cas, le courant n'a pas dépassé 60 ampères et il n'a pas fallu plus de 12 secondes pour atteindre la pleine vitesse.

Le schéma de la fig. 7 montre les connexions établies entre le trolley de prise de courant, le rhéostat de démarrage  $R_1 R_2$ , les deux moteurs  $A_1 I_1$  et  $A_2 I_2$ , les shunts  $S_1$  et  $S_2$  de leurs bobines magnétisantes, les rails et les ressorts de contact  $t, r, r_1, r_2, a_1, a_2, s_1, i_1, i'_1, i_2, s_2$  du controller que la General Electric Co dispose sur chaque plateforme de la voiture et dont la fig. 8 donne une vue d'ensemble.

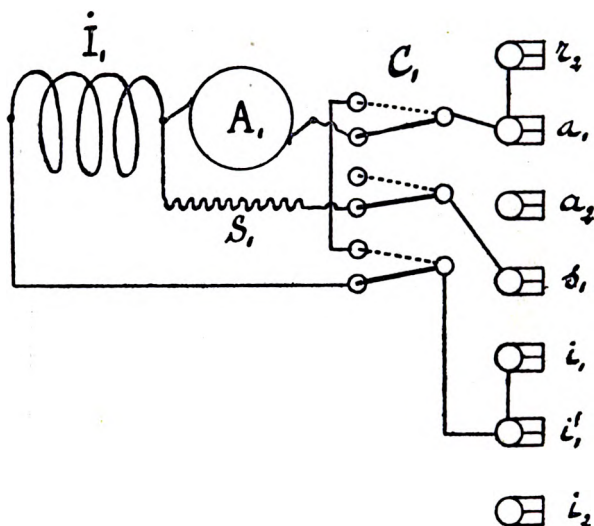


Fig. 9.

Les blocs métalliques circulaires, qui garnissent le cylindre isolant dont la rotation réalise les diverses combinaisons énumérées plus haut, sont représentés, dans le schéma, en développement sur un plan, les droites pointillées, numérotées 0 à 10, indiquant les lignes suivant lesquelles la série des ressorts touche successivement les blocs. Ceux-ci présentent entr'eux les liaisons figurées. Un électro-aimant, dont les pièces polaires s'éten-

dent tout le long du cylindre, a pour but, en soufflant les étincelles de rupture qui se produisent entre les ressorts et les blocs, d'éviter la détérioration rapide des contacts. L'enroulement E de ce souffleur magnétique est intercalé entre le ressort  $t$  du controller et le conducteur qui amène à ce dernier le courant du trolley. Le ressort  $i_2$  est en communication avec les rails par l'intermédiaire des roues, des essieux et des carcasses des moteurs auxquelles il est relié.

Pour permettre, en cas d'accident à l'une des machines, de la mettre hors circuit, le moteur  $A_1$   $I_1$  et le shunt  $S_1$  de son inducteur  $I_1$  sont en réalité raccordés aux ressorts correspondants  $a_1$ ,  $i'_1$  et  $s_1$  du controller par l'intermédiaire d'un commutateur triple  $C_1$  qui, lorsqu'il est déplacé de sa position normale, isole le moteur et son shunt et réunit directement les ressorts  $a_1$  et  $i'_1$  (fig. 9).

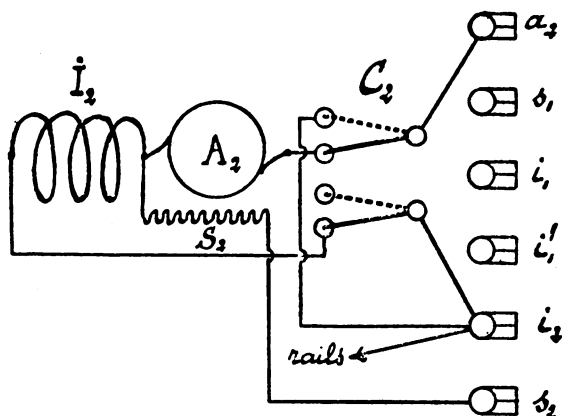


Fig. 10.

Un commutateur double  $C_2$  suffit pour le moteur  $A_2$   $I_2$ ; sa manœuvre détache les extrémités du circuit de cette machine du controller et relie le ressort  $a_2$  aux rails (fig. 10).

Pour changer le sens de marche d'une voiture, il n'y a qu'à intervertir le sens du courant dans les armatures de ses moteurs. A cet effet, le contrôleur de la General Electric C<sup>o</sup> comporte, en outre, un cylindre isolant auxiliaire pourvu de deux rangées de blocs métalliques qu'on peut amener alternativement sous des ressorts reliés aux balais des induits et aux conducteurs alimentant ces derniers. Dans le croquis de la fig. 11 montrant le détail de cette partie de l'appareil de contrôle, on a laissé de côté les commutateurs  $C_1$  et  $C_2$ .

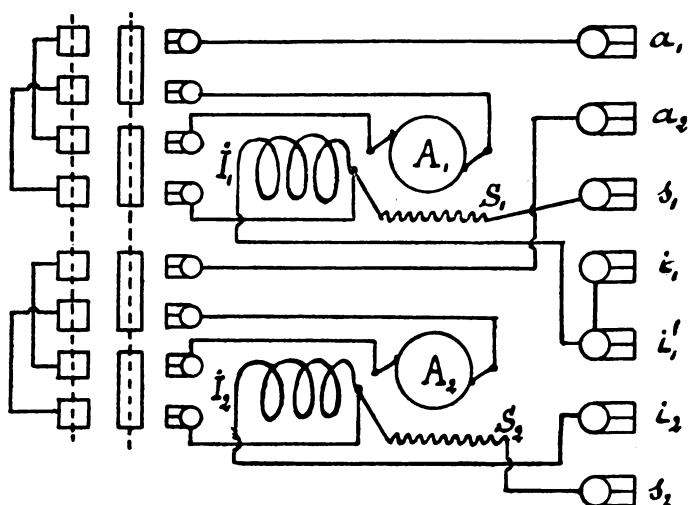


Fig. 11.

La manivelle qui commande le cylindre auxiliaire et celle du cylindre principal sont solidarisées par un système d'enclenchement mécanique qui ne permet de manœuvrer la première que lorsque l'autre est au cran de repos. Le conducteur est ainsi obligé d'interrompre le courant pour commuter les connexions des armatures. La commutation opérée en pleine vitesse, sans cette précau-

tion, occasionnerait un court-circuit d'autant plus dangereux que, jusqu'à complète annulation de la vitesse acquise, la force électromotrice des moteurs agirait dans le même sens que celle des dynamos génératrices de la station centrale.

Une seule paire de manivelles sert alternativement pour les controllers des deux plateformes, afin d'empêcher qu'un voyageur curieux ou mal intentionné puisse manœuvrer le controller d'arrière. Les manivelles ne peuvent d'ailleurs être retirées que si elles sont au préalable amenées dans la position de repos.

La communication entre les dynamos de la station centrale et les moteurs de la voiture électrique est assurée, d'une part, par le contact des roues avec les rails; d'autre part, sous le fil aérien de prise de courant roule le trolley que porte l'extrémité supérieure du long mât surmontant le toit du véhicule.



Fig. 12.

Le trolley est constitué par une roulette en laiton dont la gorge embrasse par en dessous le fil de trolley. Les meilleurs modèles sont consolidés latéralement par des nervures radiales qui présentent l'avantage de maintenir les joues de la gorge en place au moment où le fond de celle-ci est usé à jour (fig. 12). Dans ces conditions, malgré les étin-



celles qu'il provoque, le trolley peut encore servir assez longtemps pour permettre à la voiture de rentrer au dépôt. En l'absence de telles nervures, la voiture reste en panne quand l'usure occasionne la chute des joues.



Fig. 13.

Le moyeu de la roulette est garni d'une buselure conductrice en graphite qui adoucit le frottement. Le contact électrique avec la fourchette qui supporte l'axe autour duquel le trolley tourne est d'ailleurs amélioré par la présence de deux lames de ressort en cuivre ou en bronze phosphoreux rivées à la fourchette et appuyant contre les faces terminales du moyeu (fig. 13).

Le mât, auquel la fourchette est adaptée et dont la longueur mesure environ 3,50 mètres, est ordinairement un tube conique en acier articulé à la partie inférieure, autour d'un axe horizontal, dans un cadre pouvant lui-même pivoter autour d'un axe vertical établi sur un châssis en bois boulonné au toit de la voiture (fig. 14). Des ressorts, attachés par un bout au mât au dessous de l'articulation et, par l'autre bout, à une vis de rappel retenue au cadre, tendent à redresser le mât. Leur tension doit être suffisante pour assurer, en pleine vitesse, un bon contact entre le trolley et le fil de trolley. Toutefois, il

faut éviter que la tension soit trop forte : il en résulterait une usure rapide de la gorge du trolley et de la buselure en graphite ; il pourrait même arriver que la pression exagérée du trolley contre le fil empêche le premier de

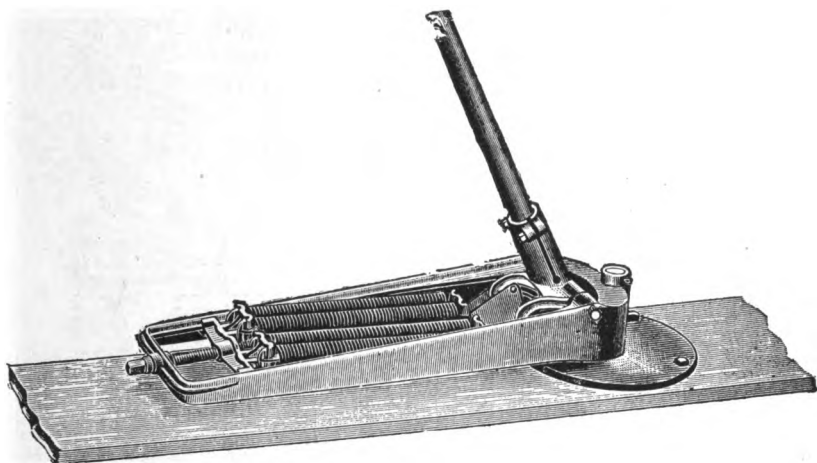


Fig. 14.

tourner et le fasse sauter du fil. On est dans de bonnes conditions en réglant la tension des ressorts de telle sorte que le mât se tienne incliné à  $45^{\circ}$  sur la verticale quand un poids de 4 kilogrammes est suspendu à la corde de manœuvre attachée à la fourchette du trolley.

Il importe de soigner le graissage des articulations de la base du mât et du cadre pivotant, afin de permettre à la roulette de suivre aisément les sinuosités du fil aérien. Une lubrification insuffisante occasionne des déraillements du trolley.

A l'aide de la corde de manœuvre, on fait tourner l'ensemble du système autour du pivot vertical pour déplacer le trolley en cas de changement du sens de marche : il convient, en effet, que le mât du trolley soit toujours

penché vers l'arrière de la voiture de manière à traîner la roulette. Quand on est obligé de reculer en poussant le trolley, il faut que quelqu'un tienne la corde de manœuvre, car le déraillement de la roulette se produit fréquemment dans ces conditions et le redressement brusque du mât peut arracher une potence ou un fil de support transversal maintenant le fil de trolley au dessus de la voie.

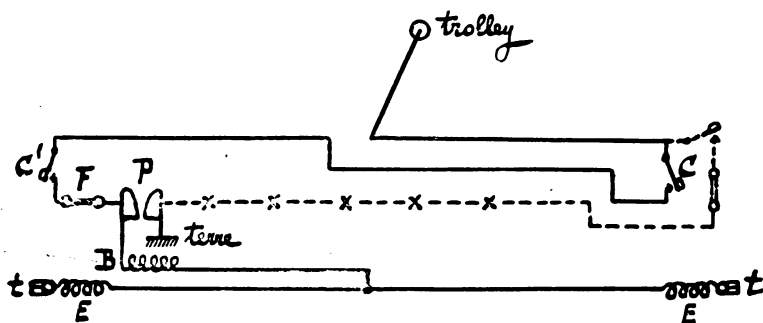


Fig. 15.

Le conducteur électrique qui raccorde la fourchette du trolley aux controllers rencontre, avant d'aboutir à ceux-ci, quelques appareils accessoires qui sont, dans l'ordre ordinaire de succession, deux interrupteurs généraux C et C', un coupe-circuit de sûreté fusible F, un parafoudre P et sa bobine à réaction B (fig. 15). Au delà de celle-ci, le conducteur de raccordement se bifurque en deux dérives, dont chacune se termine au ressort t d'un des controllers, après avoir alimenté l'enroulement E du souffleur magnétique correspondant.

Les interrupteurs, intercalés en série dans le circuit, sont disposés, un sur chaque plateforme, contre le plafond, à portée du conducteur de la voiture. Chaque fois que celui-ci quitte son poste de service, il doit avoir soin de les ouvrir.

Le coupe-circuit est destiné à préserver le matériel électrique de la voiture contre le danger d'une élévation anormale accidentelle de l'intensité du courant. Il est ordinairement constitué par un mince fil de cuivre logé dans une boîte incombustible d'un accès aisé pour le remplacement du fil. On évite la persistance d'un arc électrique après la fusion de ce dernier, en séparant suffisamment les bornes d'attache. Dans le même but, le fil traverse parfois un trou percé dans une cloison isolante interposée entre celles-ci. L'appareil se fixe d'habitude sous le plancher d'une des plateformes.

Quant au parafoudre, son rôle est de détourner des électromoteurs, en les dérivant à la terre, les décharges d'électricité atmosphérique amenées par la ligne aérienne. Comme l'un des pôles des dynamos génératrices de la station centrale est en communication permanente avec le sol, il importe que les parafoudres utilisés soient à rupture automatique de l'arc amorcé par la décharge (parafoudre Elihu Thomson) ou bien qu'ils s'opposent à la formation de l'arc (parafoudre à rondelles de zinc empilées avec interposition de lames de mica).

Le parafoudre *Ajax*, dont la description suit, est très usité dans les installations de traction électrique et fonctionne d'une manière satisfaisante dans le cas de circuits avec retour par la terre.

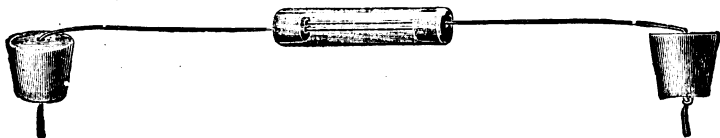


Fig. 16.

Le parafoudre en question est constitué par deux tronçons de fil fin en laiton légèrement isolé à la soie, dont les extrémités en regard sont juxtaposées, sur une longueur

de 2 à 3 centimètres, dans un tube en verre où elles sont maintenues côte à côte au moyen de deux boulettes de cire isolante bouchant le tube (fig. 16). Celui-ci a pour but de protéger contre l'humidité et la poussière l'isolant qui sépare les parties des fils qui se touchent. Les extrémités

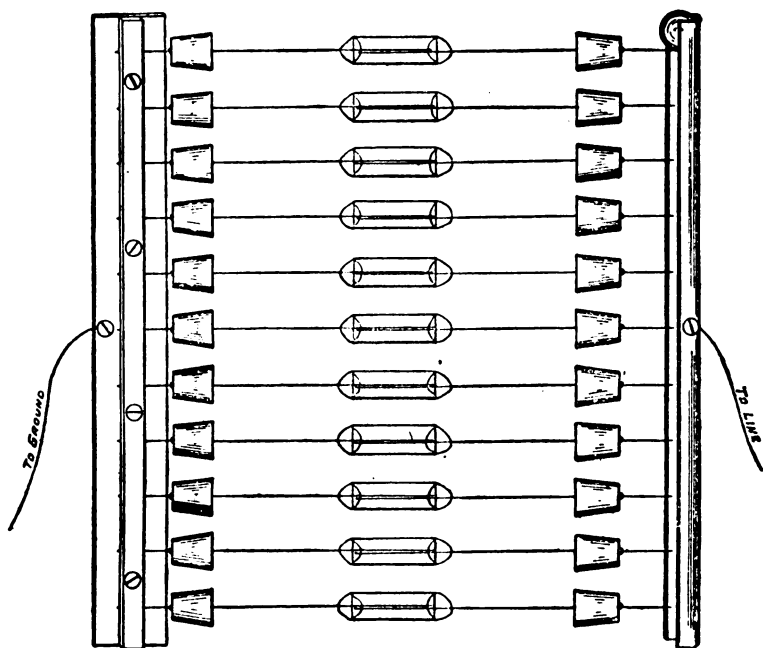


Fig. 17.

libres de ces derniers traversent des bouchons en caoutchouc enfoncés dans les trous que présente un support en porcelaine disposé verticalement et auquel sont ainsi attachés, l'un au dessous de l'autre, dans des rainures horizontales, une dizaine d'appareils semblables. Les bouts de fil dénudés, qui dépassent les bouchons à l'arrière du support, sont reliés d'un côté à une bande métallique plate en com-

munication avec la terre ; de l'autre, ils se terminent dans la gorge d'une bande repliée en U, qu'ils ne touchent pas et qui est en relation avec le circuit à protéger (fig. 17). Une boule en charbon reposant sur la pointe du fil de l'appareil supérieur, saillante dans la gorge, établit le contact et met ce premier parafoudre en service. Quand une décharge d'électricité atmosphérique atteint le parafoudre, elle s'écoule dans le sol à travers le faible isolement qui sépare les deux fils de laiton dans le tube en verre et le courant de perte des machines génératrices, mises en court-circuit sur la terre par l'arc qui succède à la décharge, volatilise complètement ces fils. La boule en charbon tombe aussitôt sur l'extrémité du fil correspondant de l'appareil suivant qui vient remplacer automatiquement le premier.

La bobine à réaction insérée dans le circuit de la voiture, en arrière du point de raccordement au parafoudre, favorise la décharge latérale de l'électricité atmosphérique à travers ce dernier. Elle ne comporte que quelques spires de fil.

Le support avec les dix appareils de rechange et la bobine à réaction du parafoudre Ajax sont enfermés dans une boîte en fonte, doublée intérieurement d'amiante, dont la place est d'ordinaire sous les bancs de la voiture. Le parafoudre doit être vérifié et nettoyé de temps en temps.

L'équipement électrique de la voiture est complété par un circuit d'éclairage alimentant 5 lampes à incandescence de 100 volts, dérivées en série avec un interrupteur et un coupe-circuit fusible entre les rails et le conducteur raccordé au trolley, avant le premier interrupteur général (fig. 15).

Les règlements de police exigent l'emploi d'huile pour les lampes des plateformes, afin qu'en cas de suppression

accidentelle du courant électrique, celles-ci restent allumées et continuent à signaler la présence de la voiture sur la voie.

Les fils de connexion multiples, reliant entr'eux les divers appareils électriques de la voiture, sont groupés ensemble en un petit nombre de faisceaux d'où ils sortent latéralement, aux endroits convenables, munis d'étiquettes portant les mêmes marques que les bornes des moteurs, controllers, rhéostats, etc., auxquelles ils doivent être attachés.

Les voitures de tramway électrique doivent être pourvues de bons freins. Ceux-ci sont le plus souvent constitués par des sabots que la manœuvre d'une manivelle, établie sur la plateforme à côté du controller, permet de serrer contre la jante des roues, et que des ressorts de rappel éloignent de celle-ci quand on détourne la manivelle. Sur l'axe de cette dernière est calé un rochet entre les dents duquel le conducteur de la voiture peut engager, à l'aide du pied, un cliquet attaché au plancher de la plateforme, de manière à soulager la main qui serre le frein.

Sauf lorsqu'il s'agit d'obtenir un arrêt assez rapide, le conducteur n'arrêtera pas sa voiture en ramenant au dernier moment la manivelle principale du controller au cran de repos et en serrant aussitôt le frein. En coupant le courant plus tôt de manière à utiliser la force vive du véhicule pour amener celui-ci jusqu'au point d'arrêt, il réduira notablement l'énergie que la voiture absorbe journellement. L'économie de combustible qui en résulte à la station centrale peut être considérable si la ligne exploitée comporte de fréquents arrêts.

En tous cas, ne jamais serrer le frein avant d'avoir ouvert le circuit des électromoteurs, ni fermer celui-ci avant d'avoir lâché le frein.

Sur les pentes, quand le poids du véhicule et des voyageurs suffit pour déterminer l'entraînement, on interrompt l'arrivée du courant d'alimentation et l'on modère le plus souvent la vitesse de descente en agissant sur le frein.

Si, pour éviter un accident, il est nécessaire d'arrêter la voiture sur le plus court espace possible, on peut, après avoir coupé le courant à l'aide de la manivelle principale du controller, déplacer la manivelle auxiliaire de celui-ci et remettre ensuite la première manivelle au premier ou au deuxième cran de marche : on envoie ainsi dans les électromoteurs un courant d'intensité modérée tendant à renverser le sens de rotation de ces machines. On risque de manquer absolument le but, en faisant fondre le coupe-circuit de la voiture, si, dans l'espoir de précipiter l'arrêt, on avance la manivelle plus loin : il ne faut pas perdre de vue, en effet, qu'après la manœuvre indiquée, la force électromotrice des moteurs s'ajoute à celle des dynamos génératrices tant que la vitesse acquise du véhicule n'est pas annulée.

Avant de mettre le trolley en contact avec le fil aérien, le conducteur d'une voiture électrique s'assurera qu'un des interrupteurs généraux est ouvert et il ne fermera ensuite ce dernier que si la manivelle principale du controller en service est au cran de repos.

Le trolley étant en prise avec le fil aérien, les interrupteurs généraux fermés, le coupe-circuit fusible en bon état et le frein desserré, si la voiture ne démarre pas quand on amène la manivelle principale du controller sur les premiers crans de marche, il se peut qu'un contact imparfait entre les roues et les rails souillés de boue ou de neige en soit la cause. On peut alors améliorer ce contact en forçant une lame métallique entre une des roues postérieures et le rail, en arrière de la première.



Si le démarrage ne s'effectue pas dans ces conditions et si les lampes d'éclairage ne s'allument pas non plus quand on ferme l'interrupteur de leur circuit, c'est que le fil de trolley n'amène plus de courant. Il ne reste alors qu'à ouvrir le circuit des moteurs, et, l'interrupteur des lampes étant fermé, qu'à attendre que le fil de trolley redevienne actif.

Pour éviter, après un arrêt momentané du service, une surcharge considérable des machines de la station centrale, occasionnée par le démarrage simultané de toutes les voitures en panne aussitôt le courant rétabli sur la ligne, les conducteurs remettront les voitures en marche successivement dans un ordre déterminé, réglé d'avance.

Encore une couple de recommandations aux conducteurs : passer lentement dans les courbes, sur les aiguilles et les croisements de la voie ferrée pour ménager à la fois celle-ci et les électromoteurs ; éviter d'arrêter en courbe, le démarrage en courbe absorbant un courant énorme.

*(Applaudissements)*

**M. Mélotte, président.** — Malgré la modestie avec laquelle M. De Bast nous a présenté son étude, et les réserves dont il a cru devoir la faire précéder au sujet du caractère trop peu transcendant, à son gré, de cette communication, je pense que le sujet mérite toute notre attention. Notre Association doit se préoccuper, en effet, du côté pratique des questions, aussi bien que du côté théorique. Notre camarade a donc fait chose utile en groupant dans un même travail des renseignements précis, épargnant ainsi à chacun de longues et fastidieuses recherches pour les obtenir, alors même qu'on saurait où les trouver.

Je désirerais demander à M. De Bast pourquoi, parmi les différents groupements des sections de l'enroulement inducteur réalisés par le controller pour le démarrage

d'une voiture à moteur unique, on n'a pas prévu un intermédiaire entre la 3<sup>e</sup> et la 4<sup>e</sup> combinaison.

Je pense qu'il y a là un saut trop brusque.

Donnons, pour fixer les idées, une résistance de 3 ohms à chacune des sections.

La 1<sup>re</sup> combinaison (3 sections en série) offre une résistance de 9 ohms.

La 2<sup>e</sup> (1 section en court-circuit), 6 ohms.

La 3<sup>e</sup> (1 section en série avec les 2 autres mises en parallèle), 4 1/2 ohms.

La 4<sup>e</sup> (1 section en court-circuit, les deux autres en parallèle), 1 1/2 ohm.

La 5<sup>e</sup> (les 3 sections en parallèle), 1 ohm.

La série des résistances obtenues est 9, 6, 4 1/2, 1 1/2, 1. Il y a évidemment une lacune pour passer de 4 1/2 à 1 1/2, qui serait comblée si l'on ajoutait une combinaison mettant 1 section en série et 2 en court-circuit, ce qui donnerait une résistance de 3 ohms.

**M. De Bast.** — La série de combinaisons que j'ai indiquée est celle qu'utilisait autrefois la *Sprague Electric Railway and Motor Co.* La détermination de l'influence des divers groupements sur la vitesse est une question complexe, car il ne suffit pas de considérer la variation de résistance de l'enroulement inducteur; non seulement le voltage aux balais de l'induit, mais le courant absorbé et le flux magnétique changent, et cela dans des proportions variables avec le degré de saturation magnétique de la carcasse.

**M. L'Hoest.** — La presse technique a signalé, avec beaucoup de raison, le gaspillage d'énergie qui se fait dans le démarrage des voitures électriques. Je m'étonne que, dans l'équipement des moteurs, on ne trouve pas un ampère-mètre pour renseigner le watt-man sur les conditions de ses manœuvres.

**M. Crombé.** — A ma connaissance, cela s'est fait en Amérique.

**M. De Bast.** — Une des causes de perte d'énergie les plus importantes réside dans la rupture trop tardive du courant avant les arrêts. Les conducteurs devraient, en toutes circonstances, utiliser le plus complètement possible la puissance vive des voitures.

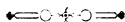
**M. Bayet.** — Je suis aussi de cet avis. Cette observation s'applique d'ailleurs à la traction à vapeur des tramways.

**M. Mélotte, président.** — L'heure étant avancée, je propose la remise à une prochaine séance de la discussion du règlement sur l'emploi de l'électricité dans les mines. — Adopté.

Mais avant de nous séparer, nous avons à procéder à l'élection d'un titulaire au mandat de commissaire qui vient d'être créé en conformité de l'art. 5 des Statuts.

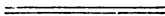
M. Grottendieck est élu à l'unanimité.

La séance est levée à midi.



## CHRONIQUE.

*Informations.* — Nous apprenons le mariage de notre camarade M. Gritters, Hendrik, avec M<sup>lle</sup> van der Pek, Jeanne.



## DOCUMENTS ADMINISTRATIFS.

**Emploi de l'électricité dans les mines minières, carrières et usines, régies par la loi du 21 avril 1810. — Arrêté royal du 15 mai 1895.**

## III

INSTALLATIONS A L'INTÉRIEUR DES MINES SANS GRISOU,  
DES MINIÈRES ET DES CARRIÈRES SOUTERRAINES.

*(Suite.)*

ART. 14. — Des coupes-circuits bipolaires électromagnétiques ou à métal fusible fonctionnant automatiquement dès que l'intensité du courant s'élève au double de l'intensité normale seront placés sur les conducteurs du circuit principal et de tout branchement parcouru par un courant supérieur à 3 ampères.

ART. 15. — Les coupe-circuits, interrupteurs, commutateurs et rhéostats seront montés sur des supports mauvais conducteurs et incombustibles.

ART. 16. — Les rhéostats devront être entourés d'une enveloppe incombustible.

Les fils des résistances auront une section suffisante pour que l'échauffement produit par le passage du courant ne puisse amener de déformation susceptible de donner lieu à des courts-circuits.

ART. 17. — Les coupe-circuits à métal fusible devront être disposés de telle sorte que la fusion du métal ne détermine pas de court-circuit et ne donne pas lieu à des projections.

Les pièces fusibles seront marquées d'un chiffre bien apparent, indiquant le courant normal pour lequel elles sont établies.

ART. 18. — On disposera les interrupteurs et commutateurs de manière à éviter la production d'arcs permanents.

Les interrupteurs devront assurer un bon contact et ne pas s'échauffer par le passage du courant ; à cette fin, ces appareils seront à frottement et les surfaces de contact seront calculées à raison d'un minimum de 5 millimètres carrés par ampère. Tous les interrupteurs et commutateurs pour courants supérieurs à 10 ampères seront bipolaires.

ART. 19. — Il est interdit de déposer des matières combustibles, inflammables ou explosives à proximité des conducteurs, machines électriques, transformateurs, coupe-circuits, interrupteurs, commutateurs et rhéostats.

ART. 20. — Toute élévation exagérée de température du circuit sera immédiatement combattue en diminuant la vitesse des machines ou en introduisant dans le circuit une résistance auxiliaire.

ART. 21. — Les chambres souterraines dans lesquelles on procède à la charge des accumulateurs devront être convenablement ventilées.

On placera un disjoncteur automatique entre la dynamo génératrice et les accumulateurs.

ART. 22. — Les transformateurs devront être enfermés dans des caisses incombustibles.

On prendra les dispositions nécessaires pour éviter tout contact accidentel entre les circuits primaire et secondaire de ces appareils et pour atténuer les inconvénients qui pourraient éventuellement résulter de ce contact.

ART. 23. — Les câbles de suspension des lampes seront incombustibles et indépendants des fils conducteurs.

Les lampes à arc seront munies de globes et de cendriers.

Les lampes à incandescence seront enveloppées de globes en verre épais.

ART. 24. — On disposera, en des endroits convenablement choisis, un nombre suffisant de lampes portatives allumées, de manière à assurer, lors de l'interruption accidentelle de l'éclairage électrique établi à demeure, la retraite des ouvriers et l'exécution des diverses manœuvres.

ART. 25. — Le service et l'entretien des appareils électriques ne pourront être confiés qu'à des ouvriers prudents et expérimentés.

## IV

### INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES A L'INTÉRIEUR DES MINES A GRISOU DE LA 1<sup>re</sup> CATÉGORIE.

ARTICLE 1<sup>er</sup>. — Les générateurs, récepteurs et transformateurs électriques seront installés dans des endroits secs et bien ventilés.

Ces appareils seront parfaitement isolés, au point de vue électrique, des fondations sur lesquelles ils reposent.

ART. 2. — A l'exception des appareils dépourvus de collecteurs et de balais et présentant une sécurité absolue dans les milieux grisouteux, les générateurs, récepteurs et transformateurs ne pourront être établis que dans les puits, sous-bures, chambres ou galeries ventilés par un courant d'air pur, n'ayant passé sur aucun chantier de travail et dans lesquels aucun afflux de grisou n'est à craindre.

ART. 3. — Dans les conditions de travail maximum, la température des différentes parties des générateurs, récepteurs et transformateurs ne pourra dépasser, de

plus de 40 degrés centigrades , la température du milieu ambiant.

Des dispositions seront prises pour empêcher , lors de l'arrêt des générateurs , la circulation dans le circuit extérieur de tout extra-courant de rupture.

On prendra des dispositions pour annuler, dans la plus grande mesure du possible, la production d'étincelles aux collecteurs et aux balais des machines.

ART. 4. — Les générateurs, récepteurs et transformateurs seront, en outre, complètement enfermés dans des enveloppes métalliques à joints hermétiques et disposées de telle sorte que l'espace libre laissé entre un appareil et son enveloppe soit minimum.

Les ouvertures nécessaires seront munies de glaces en verre épais. L'enveloppe extérieure ne pourra être enlevée pendant la marche de l'appareil.

ART. 5. — Le retour du courant par la terre est interdit.

ART. 6. — L'emploi des conducteurs nus est interdit en tous les points du circuit souterrain.

La gaine diélectrique, dont les conducteurs devront être recouverts, sera continue, imperméable, durable et efficace; cette gaine isolante sera elle-même protégée par une enveloppe solide en fer ou en acier mise à l'abri de l'oxydation.

ART. 7. — A l'exception des câbles reconnus préalablement comme étant d'une sécurité absolue dans les milieux grisouteux, les conducteurs ne pourront être établis que dans les puits, sous-bures, chambres ou galeries ventilés par un courant d'air pur n'ayant passé sur aucun chantier de travail et dans lesquels aucun afflux de grisou n'est à craindre.

Sont assimilés aux conducteurs de sécurité ceux qui sont enfouis à une profondeur de 30 centimètres au moins dans le sol des galeries, de manière à être entièrement

soustraits au contact de l'air. Dans le cas d'emploi de conducteurs de sécurité ou d'autres analogues, la longueur des conducteurs secondaires devra être réduite à un minimum.

ART. 8. — A l'exception des câbles concentriques, les conducteurs d'aller et de retour seront dans tous les cas maintenus écartés les uns des autres.

ART. 9. — Des dispositions spéciales seront prises pour empêcher, d'une façon absolue, d'atteindre aux conducteurs ; ceux établis dans les puits seront disposés de manière à éviter toute détérioration accidentelles.

ART. 10. — Les conducteurs devront pouvoir résister aux efforts auxquels ils seront exposés.

ART. 11. — Les conducteurs cachés à la vue devront être parfaitement protégés contre les accidents mécaniques et leur position sera clairement indiquée ; ils devront pouvoir être facilement visités et réparés.

ART. 12. — Les jonctions des conducteurs aux branchements et les joints seront faits avec soin ; ils ne devront pas constituer des points faibles, soit mécaniquement, soit électriquement, et leur isolement sera équivalent à celui des conducteurs.

ART. 13. — On maintiendra en état de propreté toutes les parties isolantes. On vérifiera fréquemment le parfait isolement du circuit ; à cet fin, un indicateur de terre accusant la valeur de la perte de courant sera placé à l'origine du circuit principal.

ART. 14. — La section des conducteurs sera telle que le passage accidentel d'un courant d'une intensité double de l'intensité normale ne détermine pas un échauffement supérieur à 40 degrés centigrades. Ce résultat sera en général obtenu pour les conducteurs en cuivre rouge, en bronze phosphoreux ou siliceux de haute conductibilité,



en admettant les densités de courant suivantes par millimètres carrés :

|                 |                     |                            |
|-----------------|---------------------|----------------------------|
| 3               | ampères de . .      | 1 à 10 millimètres carrés. |
| 2 $\frac{1}{2}$ | id. de . .          | 10 à 20 id.                |
| 2               | id. de . .          | 20 à 50 id.                |
| 1 $\frac{1}{2}$ | id. au-dessus de 50 | id.                        |

Les fils auront un diamètre minimum de 1 millimètre.

ART. 15. — Des appareils électrométriques (voltmètres et ampèremètres) seront placés à l'origine du circuit principal.

ART. 16. — Des coupe-circuits bipolaires électromagnétiques ou à métal fusible fonctionnant automatiquement dès que l'intensité du courant s'élève au double de l'intensité normale seront placés sur les conducteurs du circuit principal et de tout branchement parcouru par un courant supérieur à trois ampères.

ART. 17. — La fermeture et l'ouverture d'un circuit électrique ne pourront se faire que par l'intermédiaire d'un interrupteur.

ART. 18. — Les coupe-circuits, interrupteurs, commutateurs et rhéostats seront enfermés dans des enveloppes métalliques continues à joints hermétiques et montés sur des supports mauvais conducteurs et incombustibles.

Les ouvertures nécessaires seront munies de glace en verre épais.

ART. 19. — Les fils des résistances auront une section suffisante pour que l'échauffement produit par le passage du courant ne puisse amener de déformation susceptible de donner lieu à des courts-circuits.

ART. 20. — Les coupe-circuits à métal fusible devront être disposés de telle sorte que la fusion du métal ne détermine pas de court-circuit.

Les pièces fusibles seront marquées d'un chiffre bien

apparent, indiquant le courant normal pour lequel elles sont établies.

ART. 21. — On disposera les interrupteurs et commutateurs de manière à éviter la production d'arcs permanents.

Les interrupteurs devront assurer un bon contact et ne pas s'échauffer par le passage du courant ; à cette fin ces appareils seront à frottement et les surfaces de contact seront calculées à raison d'un minimum de 5 millimètres carrés par ampère. Tous les interrupteurs et commutateurs pour courants supérieurs à 10 ampères seront bipolaires.

ART. 22. — Il est interdit de déposer des matières combustibles, inflammables ou explosives à proximité des conducteurs, machines électriques, transformateurs, coupe-circuits, interrupteurs, commutateurs et rhéostats.

ART. 23. — Toute élévation exagérée de température du circuit sera immédiatement combattue en diminuant la vitesse des machines ou en introduisant dans le circuit une résistance auxiliaire.

ART. 24. — Les chambres souterraines dans lesquelles on procède à la charge des accumulateurs devront être ventilées par un courant d'air pur n'ayant passé sur aucun chantier de travail et dans lesquelles aucun afflux de grisou n'est à craindre.

Les batteries devront être placées dans des caisses fermées.

On placera un disjoncteur automatique entre la dynamo génératrice et les accumulateurs.

ART. 25. — On prendra les dispositions nécessaires pour éviter tout contact accidentel entre les circuits primaire et secondaire des transformateurs et pour atténuer les inconvénients qui pourraient éventuellement résulter de ce contact.

ART. 26. — Les câbles de suspension des lampes seront incombustibles et indépendants des fils conducteurs.

Les lampes seront à incandescence et enveloppées de globes en verre épais à joints hermétiques.

Elles seront fixées aux conducteurs auxiliaires par des attaches extensibles disposées de manière que la rupture accidentelle du circuit ait lieu à l'abri de l'air.

Les ampoules devront pouvoir être fixées à leurs supports ou en être retirées, de manière que l'étincelle de fermeture ou d'ouverture du circuit se produise en vase clos.

ART. 27. — Les appareils de prise de courant pour lampes mobiles seront disposés de manière à satisfaire également à la précédente condition; de plus les extrémités libres des câbles auxiliaires devront être fixées aux lampes avant que les appareils précités soient raccordés aux conducteurs fixes.

ART. 28. — On disposera, en des endroits convenablement choisis, un nombre suffisant de lampes de sûreté ordinaires allumées ou de lampes électriques portatives de manière à assurer, lors de l'interruption accidentelle de l'éclairage électrique établi à demeure, la retraite des ouvriers et l'exécution des diverses manœuvres.

ART. 29. — Des grisoumètres suffisamment sensibles et sûrs seront mis à la disposition du personnel en tous les points où leur présence sera jugée nécessaire.

ART. 30. — Les chambres et galeries où seront placés les câbles, lampes et autres appareils électriques, seront entretenues avec le plus grand soin et l'atmosphère en sera explorée par le personnel de la surveillance, à chacune de ses visites et par les ouvriers spéciaux chargés de la manœuvre et de la surveillance des dits appareils, à de fréquents intervalles, en vue de s'assurer de la formation

éventuelle d'un mélange inflammable. Lorsque l'existence d'un tel mélange sera constatée, on suspendra le fonctionnement des appareils électriques.

ART. 31. — Le service et l'entretien des appareils électriques ne pourront être confiés qu'à des ouvriers prudents et expérimentés spécialement désignés au registre du contrôle.

## V

### INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES A L'INTÉRIEUR DES MINES A GRISOU DE LA 2<sup>e</sup> CATÉGORIE.

ART. 1<sup>er</sup>. — Les générateurs, récepteurs et transformateurs électriques seront installés dans des endroits secs et bien ventilés.

Ces appareils seront parfaitement isolés, au point de vue électrique, des fondations sur lesquelles ils reposent.

ART. 2. — A l'exception des appareils dépourvus de collecteurs et de balais et présentant une sécurité absolue dans les milieux grisouteux, les générateurs, récepteurs et transformateurs ne pourront être établis que dans les puits, sous-bures, travers-bancs ou excavations diverses en pierre, en communication directe avec les puits et ventilés par un courant d'air pur n'ayant passé sur aucun chantier de travail et dans lesquels aucun afflux de grisou n'est à craindre.

ART. 3. — Dans les conditions de travail maximum, la température de différentes parties des générateurs, récepteurs et transformateurs ne pourra dépasser, de plus de 40 degrés centigrades, la température du milieu ambiant.

Des dispositions seront prises pour empêcher, lors de l'arrêt des générateurs, la circulation, dans le circuit extérieur, de tout extra-courant de rupture.

On prendra des dispositions pour annuler, dans la plus grande mesure du possible, la production d'étincelles aux collecteurs et aux balais des machines.

ART. 4. — Les générateurs, récepteurs et transformateurs seront en outre complètement enfermés dans des enveloppes métalliques à joints hermétiques et disposées de telle sorte que l'espace libre laissé entre un appareil et son enveloppe soit minimum.

Les ouvertures nécessaires seront munies de glaces en verre épais.

L'enveloppe extérieure ne pourra être enlevée pendant la marche de l'appareil.

ART. 5. — Le retour du courant par la terre est interdit.

ART. 6. — L'emploi des conducteurs nus est interdit en tous les points du circuit souterrain.

La gaine diélectrique dont les conducteurs devront être recouverts, sera continue, imperméable, durable et efficace; cette gaine isolante sera elle-même protégée par une enveloppe solide en fer ou en acier mise à l'abri de l'oxydation.

ART. 7. — A l'exception des câbles reconnus préalablement comme étant d'une sécurité absolue dans les milieux grisouteux, les conducteurs ne pourront être établis que dans les puits, sous-bures, travers-bancs ou excavations diverses en pierre, en communication directe avec les puits et ventilés par un courant d'air pur n'ayant passé sur aucun chantier de travail et dans lesquels aucun afflux de grisou n'est à craindre.

Sont assimilés aux conducteurs de sécurité ceux qui sont enfouis à une profondeur de 30 centimètres au moins dans le sol des galeries et de manière à être entièrement soustraits au contact de l'air.

Dans le cas d'emploi de conducteurs de sécurité ou

d'autres analogues, la longueur des conducteurs secondaires devra être réduite à un minimum.

ART. 8. — A l'exception des câbles concentriques, les conducteurs d'aller et de retour seront dans tous les cas maintenus écartés les uns des autres.

ART. 9. — Des dispositions spéciales seront prises pour empêcher, d'une façon absolue, d'atteindre aux conducteurs; ceux établis dans les puits seront disposés de manière à éviter toute détérioration accidentelle.

ART. 10. — Les conducteurs devront pouvoir résister aux efforts auxquels ils seront exposés.

ART. 11. — Les conducteurs cachés à la vue devront être parfaitement protégés contre les accidents mécaniques et leur position sera clairement indiquée; ils devront pouvoir être facilement visités et réparés.

ART. 12. — Les jonctions des conducteurs aux branchements et les joints seront faits avec soin, ils ne devront pas constituer des points faibles, soit mécaniquement, soit électriquement, et leur isolement sera équivalent à celui des conducteurs.

ART. 13. — On maintiendra en état de propreté toutes les parties isolantes. On vérifiera fréquemment le parfait isolement du circuit; à cette fin, un indicateur de terre accusant la valeur de la perte du courant sera placé à l'origine du circuit principal.

ART. 14. — La section des conducteurs sera telle que le passage accidentel d'un courant d'une intensité double de l'intensité normale ne détermine pas un échauffement supérieur à 40 degrés centigrades. Ce résultat sera en général obtenu pour les conducteurs en cuivre rouge, en bronze phosphoreux ou siliceux de haute conductibilité, en admettant les densités de courant suivantes par millimètre carré :

---

|                 |             |              |                            |
|-----------------|-------------|--------------|----------------------------|
| 3               | ampères de. | . . .        | 1 à 10 millimètres carrés. |
| 2 $\frac{1}{2}$ | id.         | . . .        | 10 à 20 id.                |
| 2               | id.         | . . .        | 20 à 50 id.                |
| 1 $\frac{1}{2}$ | id.         | au-dessus de | 50 id.                     |

Les fils auront un diamètre minimum de 1 millimètre.

ART. 15. — Des appareils électrométriques (voltmètres et ampèremètres) seront placés à l'origine du circuit principal.

ART. 16. — Des coupe-circuits bipolaires électromagnétiques ou à métal fusible fonctionnant automatiquement dès que l'intensité du courant s'élève au double de l'intensité normale seront placés sur tout circuit parcouru par un courant supérieur à trois ampères.

ART. 17. — La fermeture et l'ouverture d'un circuit électrique quelconque ne pourront se faire que par l'intermédiaire d'un interrupteur.

ART. 18. — Les coupe-circuits, interrupteurs, commutateurs et rhéostats seront enfermés dans des enveloppes métalliques continues, à joints hermétiques, et montés sur des supports mauvais conducteurs et incombustibles.

Les ouvertures nécessaires seront munies de glaces en verre épais.

ART. 19. — Les fils des résistances auront une section suffisante pour que l'échauffement produit par le passage du courant ne puisse amener de déformation susceptible de donner lieu à des courts-circuits.

ART. 20. — Les coupe-circuits à métal fusible devront être disposés de telle sorte que la fusion du métal ne détermine pas de courts-circuit.

Les pièces fusibles seront marquées d'un chiffre bien apparent indiquant le courant normal pour lequel elles sont établies.

ART. 21. — On disposera les interrupteurs et commutateurs de manière à éviter la production d'arcs permanents.

Les interrupteurs devront assurer un bon contact et ne pas s'échauffer par le passage du courant ; à cette fin ces appareils seront à frottement et les surfaces de contact seront calculées à raison d'un minimum de 5 millimètres carrés par ampère.

Tous les interrupteurs et commutateurs pour courants supérieurs à 10 ampères seront bipolaires.

ART. 22. — Il est interdit de déposer des matières combustibles, inflammables ou explosibles à proximité des conducteurs, machines électriques, transformateurs, coupe-circuits, interrupteurs, commutateurs et rhéostats.

ART. 23. — Toute élévation exagérée de température du circuit sera immédiatement combattue en diminuant la vitesse des machines ou en introduisant dans le circuit une résistance auxiliaire.

ART. 24. — Les chambres souterraines dans lesquelles on procède à la charge des accumulateurs devront être ventilées par un courant d'air pur n'ayant passé sur aucun chantier de travail et dans lesquelles aucun afflux de grisou n'est à craindre. Les batteries devront être placées dans des caisses fermées. On placera un disjoncteur automatique entre la dynamo génératrice et les accumulateurs.

ART. 25. — On prendra les dispositions nécessaires pour éviter tout contact accidentel entre les circuits primaire et secondaire des transformateurs et pour atténuer les inconvénients qui pourraient éventuellement résulter de ce contact.

ART. 26. — Les câbles de suspension des lampes seront incombustibles et indépendants des fils conducteurs.

Les lampes seront à incandescence et enveloppées de globes en verre épais, à joints hermétiques.

Elles seront fixées aux conducteurs auxiliaires par des attaches extensibles disposées de manière que la rupture accidentelle du circuit ait lieu à l'abri de l'air.



Les ampoules devront pouvoir être fixées à leurs supports ou en être retirées, de manière que l'étincelle de fermeture ou d'ouverture du circuit se produise en vase clos.

ART. 27. — Les appareils de prise de courant pour lampes mobiles seront disposés de manière à satisfaire à la précédente condition; de plus les extrémités libres des câbles auxiliaires devront être fixés aux lampes avant que les appareils précités soient raccordés aux conducteurs fixes.

ART. 28. — On disposera, en des endroits convenablement choisis, un nombre suffisant de lampes de sûreté ordinaires allumées ou des lampes électriques portatives, de manière à assurer, lors de l'interruption accidentelle de l'éclairage électrique établi à demeure, la retraite des ouvriers et l'exécution des diverses manœuvres.

ART. 29. — Des grisoumètres suffisamment sensibles et sûrs seront mis à la disposition du personnel en tous les points où leur présence sera jugée nécessaire.

ART. 29. — Les chambres et galeries, où seront placés les câbles, lampes et appareils électriques, seront entretenus avec le plus grand soin et l'atmosphère en sera explorée par le personnel de la surveillance à chacune de ses visites et par les ouvriers spéciaux chargés de la manœuvre et de la surveillance des dits appareils à de fréquents intervalles, en vue de s'assurer de la formation éventuelle d'un mélange inflammable. Lorsque l'existence d'un tel mélange sera constatée, on suspendra le fonctionnement des appareils électriques.

ART. 31. — Le service et l'entretien des appareils électriques ne pourront être confiés qu'à des ouvriers prudents et expérimentés spécialement désignés au registre du contrôle.

## VI

### INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES A L'INTÉRIEUR DES MINES A GRISOU DE LA 3<sup>e</sup> CATÉGORIE.

ARTICLE PREMIER. — L'emploi des générateurs d'électricité est interdit.

L'emploi des récepteurs et des transformateurs électriques dépourvus de collecteurs et de balais et présentant une sécurité absolue dans les milieux grisouteux est seul autorisé.

ART. 2. — Ces appareils seront installés dans des endroits secs et bien ventilés.

Ils seront parfaitement isolés au point de vue électrique des fondations sur lesquelles ils reposent.

ART. 3. — Dans les conditions de travail maximum, la température des différentes parties des récepteurs et des transformateurs ne pourra dépasser, de plus de 40 degrés centigrades, la température du milieu ambiant.

ART. 4. — Les récepteurs et transformateurs seront complètement enfermés dans des enveloppes métalliques à joints hermétiques et disposés de telle sorte que l'espace libre laissé entre un appareil et son enveloppe soit minimum.

Les ouvertures nécessaires seront munies de glaces en verre épais.

L'enveloppe extérieure ne pourra être enlevée pendant la marche de l'appareil.

ART. 5. — Le retour du courant par la terre est interdit.

ART. 6. — Dans tous les points du circuit souterrain, à l'exception des puits d'entrée d'air, l'emploi des câbles reconnus préalablement comme étant d'une sécurité absolue dans les milieux grisouteux est seul autorisé.

Sont assimilés aux conducteurs de sécurité ceux qui sont enfouis à une profondeur de 30 centimètres au moins dans le sol des galeries et de manière à être entièrement soustraits au contact de l'air.

La longueur des conducteurs secondaires devra être réduite à un minimum.

ART. 7. — La gaine diélectrique dont les conducteurs devront être recouverts sera continue, imperméable, durable et efficace; cette gaine isolante sera elle-même protégée par une enveloppe solide, en fer ou en acier, mise à l'abri de l'oxydation.

ART. 8. — A l'exception des câbles concentriques, les conducteurs d'aller et de retour seront dans tous les cas maintenus écartés les uns des autres.

ART. 9. — Des dispositions spéciales seront prises pour empêcher, d'une façon absolue, d'atteindre aux conducteurs; ceux établis dans les puits seront disposés de manière à éviter toute détérioration accidentelle.

ART. 10. — Les conducteurs devront pouvoir résister aux efforts auxquels ils seront exposés.

ART. 11. — Les conducteurs cachés à la vue devront être parfaitement protégés contre les accidents mécaniques et leur position sera clairement indiquée; ils devront pouvoir être facilement visités et réparés.

ART. 12. — Les jonctions des conducteurs aux branchements et les joints seront faits avec soin; ils ne devront pas constituer des points faibles, soit mécaniquement, soit électriquement et leur isolement sera équivalent à celui des conducteurs.

ART. 13. — On maintiendra en état de propreté toutes les parties isolantes. On vérifiera fréquemment le parfait isolement du circuit; à cette fin, un indicateur de terre accusant la valeur de la perte du courant sera placé à l'origine du circuit principal.

ART. 14. — La section des conducteurs sera telle que le passage accidentel d'un courant d'une intensité double de l'intensité normale ne détermine pas un échauffement supérieur à 40 degrés centigrades. Ce résultat sera en général obtenu pour les conducteurs en cuivre rouge, en bronze phosphoreux ou siliceux de haute conductibilité, en admettant les densités de courant suivantes par millimètre carré :

|                 |            |              |                            |
|-----------------|------------|--------------|----------------------------|
| 3               | ampères de | . . .        | 1 à 10 millimètres carrés. |
| 2 $\frac{1}{2}$ | id.        | . . .        | 10 à 20 id.                |
| 2               | id.        | . . .        | 20 à 50 id.                |
| 1 $\frac{1}{2}$ | id.        | au-dessus de | 50 id.                     |

Les fils auront un diamètre minimum de 1 millimètre.

ART. 15. — Des coupe-circuits bipolaires électromagnétiques ou à métal fusible fonctionnant automatiquement dès que l'intensité du courant s'élève au double de l'intensité normale, seront placés sur tout circuit parcouru par un courant supérieur à trois ampères.

ART. 16. — La fermeture et l'ouverture d'un circuit électrique quelconque ne pourront se faire que par l'intermédiaire d'un interrupteur.

ARR. 17. — Les coupe-circuits, interrupteurs, commutateurs et rhéostats seront enfermés dans des enveloppes métalliques continues, à joints hermétiques et montés sur des supports mauvais conducteurs et incombustibles.

Les ouvertures nécessaires seront munies de glaces en verre épais.

ART. 18. — Les fils des résistances auront une section suffisante pour que l'échauffement produit par le passage du courant ne puisse amener de déformation susceptible de donner lieu à des courts-circuits.

ART. 19. — Les coupe-circuits à métal fusible devront être disposés de telle sorte que la fusion du métal ne détermine pas de court-circuit.

Les pièces fusibles seront marquées d'un chiffre bien apparent indiquant le courant normal pour lequel elles sont établies.

ART. 20. — On disposera les interrupteurs et commutateurs de manière à éviter la production d'arcs permanents.

Les interrupteurs devront assurer un bon contact et ne pas s'échauffer par le passage du courant ; à cette fin, ces appareils seront à frottement et les surfaces de contact seront calculées à raison d'un minimum de 5 millimètres carrés par ampère.

Tous les interrupteurs et commutateurs pour courants supérieurs à 10 ampères seront bipolaires.

ART. 21. — Il est interdit de déposer des matières combustibles, inflammables ou explosives à proximité des conducteurs, récepteurs, transformateurs, coupe-circuits, interrupteurs, commutateurs et rhéostats.

ART. 22. — Les chambres souterraines dans lesquelles on procède à la charge des accumulateurs devront être ventilés par un courant d'air pur n'ayant passé sur aucun chantier de travail et dans lesquelles aucun afflux de grisou n'est à craindre. Les batteries devront être placées dans des caisses fermées.

On placera un disjoncteur automatique entre la dynamo génératrice et les accumulateurs.

ART. 23. — On prendra les dispositions nécessaires pour éviter tout contact accidentel entre les circuits primaire et secondaire des transformateurs et pour atténuer les inconvénients qui pourraient éventuellement résulter de ce contact.

ART. 24. — Les câbles de suspension des lampes seront incombustibles et indépendants des fils conducteurs.

Les lampes seront à incandescence et enveloppées de globes en verre épais à joints hermétiques.

Elles seront fixées aux conducteurs auxiliaires par des

attaches extensibles disposées de manière que la rupture accidentelle du circuit ait lieu à l'abri de l'air.

Les ampoules devront pouvoir être fixées à leurs supports ou en être retirées, de manière que l'étincelle de fermeture ou d'ouverture du circuit se produise en vase clos.

ART. 25. — Les appareils de prise de courant pour lampes mobiles seront disposées de manière à satisfaire également à la précédente condition; de plus, les extrémités libres des câbles auxiliaires devront être fixées aux lampes avant que les appareils précités soient raccordés aux conducteurs fixes.

ART. 26. — On disposera, en des endroits convenablement choisis, un nombre suffisant de lampes de sûreté ordinaires allumées ou de lampes électriques portatives de manière à assurer, lors de l'interruption accidentelle de l'éclairage électrique établi à demeure, la retraite des ouvriers et l'exécution des diverses manœuvres.

ART. 27. — Des grisoumètres suffisamment sensibles et sûrs seront mis à la disposition du personnel en tous les points où leur présence sera jugée nécessaire.

ART. 28. — Les chambres et galeries où seront placés les câbles, lampes et autres appareils électriques seront entretenues avec le plus grand soin et l'atmosphère en sera explorée par le personnel de la surveillance à chacune de ses visites et par les ouvriers spéciaux chargés de la manœuvre et de la surveillance des dits appareils à de fréquents intervalles, en vue de s'assurer de la formation éventuelle d'un mélange inflammable. Lorsque l'existence d'un tel mélange sera constatée, on suspendra le fonctionnement des appareils électriques.

ART. 29. — Le service et l'entretien des appareils électriques ne pourront être confiés qu'à des ouvriers prudents et expérimentés spécialement désignés au registre du contrôle.

## VII

EMPLOI DES LAMPES ÉLECTRIQUES PORTATIVES. (MINES A GRISOU DES 1<sup>re</sup>, 2<sup>e</sup> ET 3<sup>e</sup> CATÉGORIES.) CONDITIONS GÉNÉRALES RÉGISSANT L'USAGE DE CES LAMPES.

ART. 1<sup>er</sup>. — Les lampes à incandescence seront enveloppées de globes en verre épais à joints hermétiques.

ART. 2. — Les boîtes ou caisses renfermant les générateurs d'électricité seront imperméables à l'air et aux liquides.

ART. 3. — L'enlèvement des globes et l'ouverture des boîtes ou caisses seront rendus impossibles à l'intérieur des travaux miniers.

ART. 4. — Les commutateurs se manœuvreront en vase clos.

ART. 5. — Les bornes des générateurs de courant seront disposées de manière à ce qu'on ne puisse les mettre en court-circuit à l'intérieur des travaux miniers.

ART. 6. — Des grisoumètres suffisamment sensibles et sûrs seront mis à la disposition du personnel en tous les points où leur présence sera jugée nécessaire.

ART. 7. — Le service et l'entretien des lampes électriques ne pourront être confiés qu'à des ouvriers expérimentés spécialement désignés au registre du contrôle.



## SÉANCE DU 23 FÉVRIER 1896.



*Présidence de M. Mélotte, président.*



Ont signé la liste de présence MM. Alfieri, Andringa, Baffrey, Bailly, Bayet, Berthollet, Bertrand, Biske, Briffaux, Chaudoir, Choulguin, Compyn, Courand, Cruciani, De Bast, Del Paglia, Del Proposto, Deltenre, Everarts, Faüel, Favart, Emile Gérard, Eric Gerard, Grottendieck, Guistetti, Horowitz, Huillet, Koenigsberg, Larmoyer, Lejare, L'Hoest, Libert, Ludergnani, Markovitch, Masson, Mathieux, Mavroïdis, de Meglitzky, Mélotte, Noïrfalise, Quinaux, Robert, de Rochemont, Rousseau, de Ryckere, Sarrat, Somach, Steels, Sturani, Van der Hecht, Verdeleanu, de Waal, Wanson.

**M. Mélotte**, *président*. — Je propose à l'Assemblée d'intervertir l'ordre du jour pour commencer la séance par la communication et les expériences de M. le Professeur Gerard sur les rayons X, et de nous rendre à l'auditoire où les appareils sont disposés. — *Adopté*.

**M. Eric Gerard**, *Vice-Président d'honneur*, communique la note suivante :

### Sur la photographie des corps invisibles.

Avant de vous parler des remarquables expériences du professeur Röntgen, de Wurtzbourg, je pense qu'il est utile de vous rappeler quelques notions de la théorie de la propagation des phénomènes physiques, afin de mieux vous faire saisir les hypothèses qui ont été suggérées pour expliquer les effets obtenus par le savant allemand.



Je crois devoir, en outre, résumer les travaux sur la décharge électrique dans les tubes raréfiés, afin de montrer la succession des découvertes qui ont préparé la voie au professeur Röntgen.

Les phénomènes physiques peuvent se propager dans un milieu, soit par un transport de matière, soit par des ondulations longitudinales ou des ondulations transversales du milieu.

La propagation par transport de matière s'observe dans la décharge d'un corps électrisé pourvu d'une pointe. Si une sphère électrisée positivement et armée d'une pointe est en présence d'une autre sphère reliée à la terre, les molécules d'air voisines de la pointe s'électrisent, sont repoussées vers la sphère voisine et déposent sur cette dernière leur charge d'électricité positive (fig. 1). Ce phénomène constitue le principe des paratonnerres usuels.

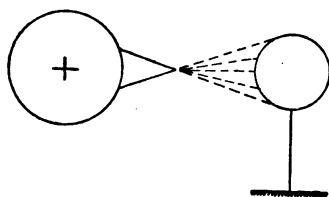


Fig. 1.

La théorie de l'émission, imaginée par Newton pour expliquer les phénomènes lumineux, est également basée sur un transport de matière. Le grand mathématicien anglais supposait qu'il existe une matière lumineuse excessivement ténue qui se transporte des corps lumineux sur les corps éclairés suivant le chemin décrit par les rayons. Cette théorie a été détrônée par celle des ondulations.

Beaucoup de phénomènes se propagent sous forme d'ondes qui peuvent être longitudinales ou transversales.

Pour comprendre le mécanisme de ces ondes, imaginons un milieu homogène formé de molécules gazeuses réparties uniformément et en équilibre sous l'effet de leurs répulsions mutuelles. Représentons trois molécules  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , disposées suivant une ligne droite (fig. 2). Si la molécule  $a$  reçoit un choc dirigé dans le sens  $ac$ , elle se rapproche de  $b$  avec une vitesse décroissante, puis revient en arrière et décrit une série d'oscillations isochrones avant de reprendre sa position initiale, à la manière d'un ressort qui a été tendu puis détendu.

Mais, pendant que  $a$  s'approche de  $b$ ,  $b$  est repoussé et se porte vers  $c$ , de sorte qu'à un moment donné on a l'image  $a'$ ,  $b'$ ,  $c'$ , (fig. 3).

$b'$  étant repoussé à son tour, on aura, comme dans la fig. 4,  $a''$ ,  $b''$ ,  $c''$ .

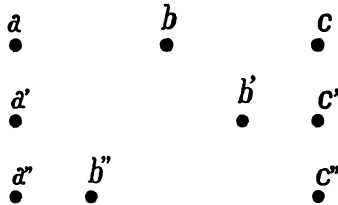


Fig. 2, 3, 4.

Si, au lieu de considérer trois molécules, on suppose un grand nombre de molécules constituant le milieu gazeux, on observera des phénomènes analogues; le gaz sera dilaté dans la région  $a' b'$  et condensé dans la région  $b' c'$ . L'ébranlement moléculaire se communiquera de proche en proche sous forme d'ondes, alternativement dilatées et condensées.

On pourra représenter graphiquement l'état du milieu de la manière suivante :

On porte sur une ligne horizontale, figurant la direction

de la propagation de l'onde, des ordonnées de hauteur égale à la différence entre la pression du gaz aux divers points et la pression normale. Les ordonnées seront positives dans le cas d'une condensation des molécules et négatives dans le cas contraire.

La ligne ondulée A B C D E, fig. 4, représente l'état du milieu à un moment donné.

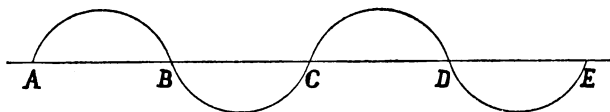


Fig. 5.

Le son se transmet par des ondes semblables dans les gaz, les liquides et les solides. La matière est, d'ailleurs, nécessaire à la transmission du son, lequel ne se propage pas dans le vide.

Le troisième mode de propagation, par ondes transversales, trouve son application dans les ondes formées à la surface de l'eau par la chute d'une pierre. Le choc normal à la surface liquide se transmet de proche en proche par des ondes normales à la direction de la propagation. Comme dans le cas des ondes longitudinales, les molécules qui transmettent le mouvement ne font qu'osciller autour de leurs positions d'équilibre : si des corps légers flottent sur l'eau, on les voit successivement s'élever et s'abaisser, mais non se mouvoir dans le sens de la propagation des ondes.

La ligne sinueuse de la fig. 4 peut représenter les positions momentanées des molécules par rapport à leurs positions normales.

Une des propriétés caractéristiques des ondes est l'*interférence*. Si on laisse tomber simultanément deux pierres dans l'eau, les ondes produites par ces pierres se pro-

pagent, se rencontrent et se combinent. La hauteur à laquelle atteint chaque molécule de la surface liquide est la somme algébrique des hauteurs auxquelles chacune des pierres aurait porté cette molécule. Si, en un point, une molécule tend, sous l'influence d'une des pierres, à s'élever à une hauteur  $h$ , tandis que l'autre pierre tend à la faire descendre de la même quantité, la molécule restera au niveau normal. En ce point, l'interférence des ondes contraires annule le mouvement.

Une autre propriété des ondes est la *réflexion*. Lorsqu'un mouvement ondulatoire rencontre une paroi solide, les ondes sont réfléchies et reviennent en arrière en interférant avec les ondes incidentes. Ce fait s'observe lorsque des ondes liquides frappent une paroi verticale. On voit alors nettement la combinaison des ondes incidentes avec les ondes réfléchies.

La propagation de la lumière a été expliquée par Young et Fresnel à l'aide d'ondes transversales. Comme la lumière peut passer dans le vide, ce ne sont plus les molécules matérielles qui servent à la propagation, mais l'éther qui remplit les espaces interplanétaires et qui baigne les molécules de tous les corps.

La *réfraction* des ondes lumineuses, qui apparaît lorsqu'on envoie un faisceau de lumière blanche à travers un prisme, montre qu'en réalité un tel faisceau est composé d'ondes simples. Ces ondes déterminent les diverses couleurs du spectre visible. Au delà du violet, il y a des rayons invisibles qui produisent des décompositions chimiques et des phénomènes de phosphorescence. En deçà du rouge, il y a d'autres rayons invisibles qui ne se manifestent à nos sens que par leur action calorifique.

Dans ces dernières années, le regretté physicien allemand Hertz, vérifiant expérimentalement une vue géniale de l'anglais Maxwell, a démontré que les courants élec-

triques alternatifs produisent, dans le milieu qui entoure les conducteurs, des ondes transversales analogues à celles de la lumière.

On peut donc affirmer à l'heure actuelle que l'induction électrique, la chaleur, la lumière et les rayons chimiques sont des ondes transversales de l'éther, qui ne diffèrent entr'elles que par la rapidité de leur succession.

Ces préliminaires posés, jetons un regard sur les développements progressifs de nos connaissances sur la décharge électrique dans les milieux raréfiés.

Si l'on met en communication avec les bornes secondaires d'une forte bobine de Ruhmkorff un tube dans lequel on fait le vide, on constate qu'à partir d'un certain degré de raréfaction la décharge affecte la forme d'une nappe lumineuse blanchâtre qui réunit les deux fils d'amenée du courant ou électrodes. Cette nappe est souvent stratifiée et présente des stries obscures. Ces phénomènes ont reçu, dans les tubes de Geissler, des apparences diverses, suivant la nature des gaz et du verre employés.

En poussant davantage le degré de vide à l'aide des pompes à mercure, Hittorf et Crookes ont reconnu des phénomènes nouveaux. Il se forme près de la *cathode* ou électrode en communication avec le pôle négatif de la bobine secondaire, un espace obscur ; la lueur blanche n'apparaît plus que près de l'anode ou électrode reliée au pôle positif (\*).

En continuant encore à faire le vide, on constate que la lueur disparaît complètement et que l'atmosphère du tube devient complètement obscure.

---

(\*) Dans une bobine de Ruhmkorff, alimentée par des piles ou des accumulateurs, le courant induit de rupture est beaucoup plus intense que celui de fermeture, ce qui détermine le sens de la polarité principale des bobines secondaires.

Mais alors apparaît un phénomène qui a été étudié avec beaucoup de sagacité par le professeur Crookes. Le verre de l'ampoule manifeste, vis-à-vis de la cathode, une teinte phosphorescente verdâtre.

Pour expliquer cet effet, le physicien anglais a supposé que les molécules d'air restées dans l'ampoule s'électrisent au contact de la cathode et sont repoussées normalement à celle-ci jusqu'à la paroi opposée qu'elles bombardent, en occasionnant la phosphorescence du verre. Lorsque le vide est moins parfait, au contraire, les molécules électrisées rencontrent d'autres molécules sur leur chemin et des chocs moléculaires résulte la lueur observée à l'intérieur du tube.

Crookes a cherché à démontrer le bombardement moléculaire de *matière radiante*, c'est le nom qu'il a donné au gaz très raréfié, par un grand nombre d'expériences.

Dans l'une des plus caractéristiques, une croix en aluminium est interposée sur le passage du faisceau venant de la cathode. On voit dans la lueur de la paroi de verre l'ombre obscure de la croix, celle-ci ayant intercepté le courant gazeux rectiligne.

Une autre propriété du faisceau radiant est sa déviation sous l'influence d'un aimant.

Si, enfin, on pousse dans le tube le degré de vide aux limites extrêmes que nos appareils sont susceptibles de produire, la décharge ne passe plus et toute lueur cesse.

L'illustre physicien Hertz a repris l'étude du faisceau cathodique et il a montré qu'on ne supprime pas la phosphorescence du verre en interposant sur le parcours du faisceau des lames métalliques minces, telles que des feuilles d'aluminium ou d'argent.

Ce fait a donné à penser aux physiciens allemands que ces rayons venant de la cathode ou *rayons cathodiques*, qui

ont une direction tout différente de celle de la décharge, sont constitués non par un bombardement moléculaire, mais par des vibrations de l'éther.

Avant d'insister sur ce point, je dois vous parler d'un travail d'une importance capitale publié sur les rayons cathodiques, en 1894, par le physicien hongrois Lénard, un des élèves de Hertz.

Lénard a imaginé de percer, dans la paroi d'un tube à vide frappée par les rayons cathodiques, une petite fenêtre fermée par une pellicule d'aluminium, assez forte pour résister à la pression atmosphérique extérieure, mais suffisamment mince pour se laisser traverser par les rayons cathodiques. La fig. 5 montre la disposition adoptée. La cathode *c* a la forme d'un disque; l'anode *a* est constituée par un cylindre entourant un tube de verre qui protège le fil de la cathode. La fenêtre est en *f*.

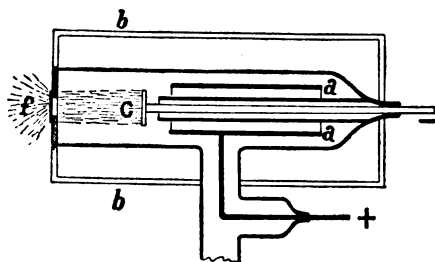


Fig. 6.

Le tube est en communication constante avec la pompe à mercure pour assurer le maintien du vide.

Pour masquer la lueur de la paroi intérieure du tube, ainsi que pour soustraire celui-ci à certaines influences électriques extérieures. Lénard avait enveloppé son appareil d'une caisse métallique *b*.

Cette combinaison permet d'étudier les rayons cathodiques à l'extérieur du tube où ils sont produits, dans les

gaz, les liquides et les solides, voire même dans des tubes à vide placés dans le prolongement du tube de Lénard.

Les rayons cathodiques se décèlent grâce à leur propriété d'exciter la phosphorescence de certains corps.

De l'ensemble d'un grand nombre d'expériences effectuées par le physicien hongrois, il résulte les conséquences suivantes.

Les rayons cathodiques sont absorbés par les différents gaz, non en raison de la nature, mais seulement de la densité de ceux-ci. Dans l'air les rayons cathodiques se manifestent par une lueur phosphorescente qui s'étale en aigrette autour de la fenêtre d'aluminium.

Le papier, le carton et les métaux en feuilles minces sont transparents aux rayons cathodiques.

Ceux-ci impressionnent les plaques photographiques. Lénard a découvert, dès 1894, que des plaques de quartz et d'aluminium, interposées sur les rayons, déterminent des ombres d'inégales intensités sur une plaque photographique.

Les rayons cathodiques déchargent les corps électrisés.

L'aimant dévie les rayons cathodiques.

Cependant, ici l'action est complexe. Si l'on détermine une tache lumineuse sur un écran phosphorescent frappé par les rayons cathodiques, on observe un noyau central entouré d'une auréole. L'auréole paraît seule déviée par l'aimant. Cette observation montre que les rayons étudiés par Lénard étaient composés de deux radiations différentes.

Les études en étaient là quand, à la fin de 1895, le professeur Röntgen fit cette découverte inattendue qu'en interposant la main entre un tube de Crookes et une plaque photographique, on peut reproduire le squelette des doigts.

Suivant Röntgen, la lueur phosphorescente verte,



produite par les rayons cathodiques sur l'ampoule en verre, constitue un foyer d'où émanent des rayons nouveaux, auxquels le savant a donné le nom de rayons X et qui irradient dans toutes les directions.

Les rayons X sont capables d'exciter la phosphorescence et, en particulier, celle d'une feuille de papier lavée au platinocyanure de baryum, lequel constitue un réactif pour déceler l'existence de ces rayons.

Comme les rayons cathodiques, les rayons X traversent les corps gazeux, liquides ou solides, transparents ou non à la lumière, avec d'autant plus de facilité que la densité de ces corps est moindre. La masse matérielle est donc le principal facteur de l'absorption des rayons X.

Les rayons X déchargent les corps électrisés.

Enfin l'aimant ne dévie pas ces rayons.

Cette dernière propriété a suggéré au professeur Röntgen l'idée que les rayons X sont différents des rayons cathodiques. Il est cependant évident que la fenêtre du tube de Lénard a dû laisser passer des rayons X, parce que ces rayons se transmettent à travers les plaques minces d'aluminium. Les photographies obtenues par le physicien hongrois à travers les plaques de quartz et d'aluminium sont, selon toute vraisemblance, dues aux rayons X.

Ceux-ci constituent probablement la partie des rayons observés par Lénard, sur laquelle l'aimant est sans action.

Resterait à rendre compte de la seconde partie du faisceau, déviée par l'aimant. Suivant les physiciens anglais le bombardement moléculaire de Crookes peut traverser les plaques métalliques minces, telle que la fenêtre du tube de Lénard, et être dévié par l'aimant en dehors du tube.

Quoiqu'il en soit, Röntgen a eu le grand mérite

d'isoler les rayons X et de montrer leur foyer, qui est la lueur verte provoquée par les rayons cathodiques.

On a contesté dernièrement ce fait. De nombreuses expériences faites à l'Institut Montefiore ont montré la vérité des dires de Röntgen.

Il reste à expliquer la nature des rayons X. Si ce sont des ondulations de l'éther, comme le donne à croire le fait qu'ils se propagent dans le vide, ils doivent jouir des propriétés générales des ondes. Or, les expériences n'ont pu faire découvrir jusqu'à présent de réflexion ni de réfraction. Le fait peut être attribué au manque de précision et à la difficulté des mesures (\*).

Quelques physiciens supposent que les rayons X sont constitués par des ondes transversales de l'éther plus courtes que les rayons ultra-violets du spectre et qui traversent les corps solides sans réflexion ni réfraction, parce que leur amplitude est plus faible que les espaces intermoléculaires des corps. C'est par une raison semblable que la lumière traverse la poussière atmosphérique.

Suivant Röntgen, ces radiations seraient des ondulations longitudinales de l'éther. La théorie mathématique des mouvements de l'éther semble montrer qu'il doit y avoir, outre les vibrations transversales que nous connaissons, des vibrations longitudinales; mais aucune expérience n'a encore pu mettre ces dernières en évidence. Les rayons X en seraient la première démonstration. Ce seraient les ondes sonores de l'éther.

Pour obtenir de bonnes épreuves négatives avec les rayons X, on se sert d'une bobine de Ruhmkorff grand

---

(\*) Des recherches récentes ont montré que les rayons X peuvent être polarisés;

modèle, excitée par trois ou quatre éléments d'accumulateur.

Les bornes secondaires de la bobine sont reliées à un tube de Crookes en forme de poire. Contre la paroi du tube où se manifeste la lueur cathodique, on place un diaphragme en plomb percé d'un orifice de 3 à 4 cm de diamètre. Une plaque sensible, enveloppée de 3 à 4 doubles de papier noir, est placée à 20 cm au moins de l'ampoule. Sur la plaque, et aussi près que possible de celle-ci, est l'objet à photographier.

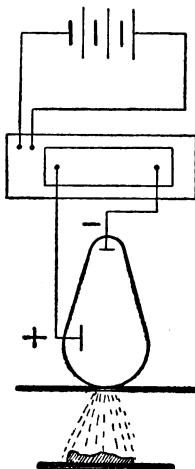


Fig. 7.

La pose varie de quelques secondes à plusieurs heures, suivant la puissance de la décharge, la qualité des plaques sensibles, la transparence des objets à photographier, la qualité et l'épaisseur du verre de l'ampoule et surtout le degré de vide. Lorsque le vide atteint le degré convenable, la lueur cathodique est bien délimitée et d'un vert clair. Quand le vide est moins parfait, toute la surface du tube de Crookes prend une apparence jaunâtre.

La meilleure disposition consiste à laisser le tube en communication permanente avec la pompe à mercure, de manière à maintenir le degré de vide voulu.

Les rayons X ont, dès à présent, des applications importantes dans la chirurgie pour l'étude des fractures et des déformations osseuses et pour la recherche des projectiles.

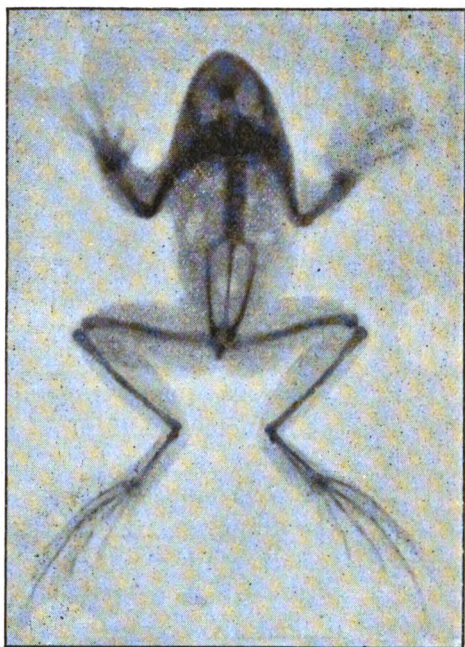


Fig. 8 et 9.

La médecine pourra tirer parti des rayons X quand on saura rendre distincte la photographie des organes intérieurs du corps. Il faut espérer que les hôpitaux installeront rapidement les appareils nécessaires pour ce genre d'expériences.

Nous autres ingénieurs, nous profiterons de la découverte du professeur Röntgen pour l'étude des matériaux. Le tube à vide de Crookes deviendra peut-être un jour l'auxiliaire du banc de Kirkaldy dans les essais de réception.

Un mot pour terminer. Comme je l'ai montré, la découverte de Röntgen a été le dernier chaînon d'une longue série de recherches poursuivies dans l'ombre des laboratoires pendant bien des années. Le grand public ne connaît que le nom de Röntgen et il attribue volontiers son invention à un hasard heureux, un de ces hasards qui n'arrivent d'ailleurs jamais qu'aux hommes particulièrement doués de l'esprit d'observation. J'ai tenu à rendre hommage à Crookes, Hertz et Lénard, qui ont été les premiers dans la voie de la découverte des rayons X.

*(Applaudissements).*

**M. Mavroïdis**, communique ensuite la note suivante :

**Les récentes modifications des appareils de prise de courant pour tramways électriques alimentés par conducteur aérien.**

Le développement de la traction électrique pendant ces dernières années a suffisamment démontré que, par ses avantages, elle répond le mieux aux conditions du trafic urbain et suburbain. D'autre part, les éléments constitutifs reçoivent, de jour en jour, dans le but de les perfectionner, des modifications telles qu'on ne sera pas étonné de voir la traction électrique appliquée à toutes les lignes de tramways.

Parmi les modifications récentes, M. George Westinghouse junior en a apporté une qui mérite d'être signalée.

Celle-ci consiste en ce que le trolley ordinaire, dont

le roulement s'effectue en dessous du fil conducteur, est remplacé par un trolley à roulement latéral ; celui-ci a la

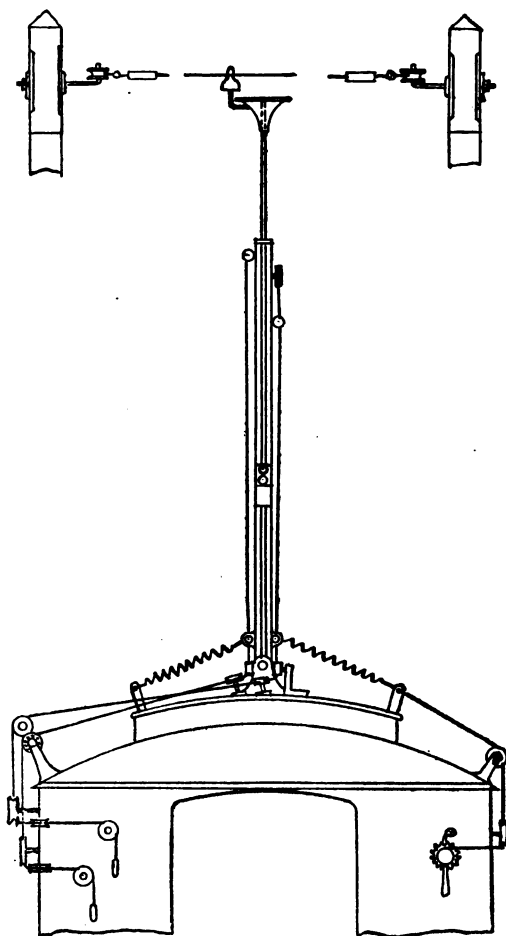


Fig. 1. — Plan de montage et vue transversale.

forme d'une cloche renversée dont la partie évasée est munie d'une large bordure qui s'étend sur la partie supé-

rieure du fil conducteur. La tige de trolley oscille dans un plan normal à la direction de la voiture, de façon à être constamment pressée latéralement contre celui-ci.

L'arrangement est tel qu'à l'aide de ressorts convenables le trolley peut rouler indifféremment de l'un ou de l'autre côté du fil de distribution; cette modification réduit de beaucoup la complication de la ligne aérienne aux abords des courbes et des croisements, où l'emploi des pinces de support spéciales serait inévitable avec le trolley ordinaire.

Les changements de l'inclinaison de la tige peuvent s'effectuer pendant la marche. Ces changements sont nécessaires dans le plan normal à la voie et se font par l'intermédiaire des tendeurs de ressorts qui se trouvent à la portée du conducteur de la voiture.

Des arrangements spéciaux ont été prévus pour la hauteur du fil de distribution. La fig. 1 donne quelques détails sur la disposition de l'appareil.

Le fond de l'idée de M. Westinghouse était l'augmentation de la surface de roulement, laquelle, d'après les dimensions de la cloche, peut comprendre 2 à 3 fois celle du trolley ordinaire; cette augmentation de surface, ainsi que la forme de la roulette, assurent un contact permanent quelque soient les flèches produites par la longueur des portées du fil conducteur.

Dans le même but, la maison Siemens et Halske a apporté des perfectionnements au système de prise de courant par contact glissant. Ce système a été appliqué dans la ligne des tramways électriques installée à Francfort durant l'Exposition Électrique, puis à Budapesth et à Genève, mais son succès ne fut que médiocre. Les inconvénients résultant de l'usure du fil conducteur et le bruit occasionné par le glissement étant considérés comme désavantages sérieux, pour la plupart des installations

de ce genre on a préféré le trolley ordinaire, lequel est généralement employé en Amérique.

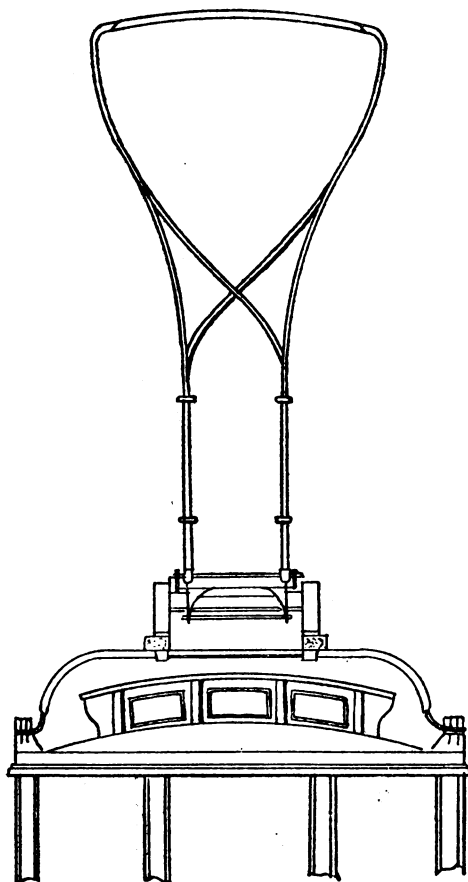


Fig. 2. — Vue transversale.

Toutefois, MM. Siemens et Halske, persistant dans leur système, ont su atténuer ces inconvénients en apportant des modifications qui méritent d'être signalées. La



fig. 2 donne quelques détails de l'appareil qui se compose d'un cadre métalliqué de structure légère et solide; fixé à la toiture de la voiture.

La partie supérieure du cadre qui joue le même rôle que le trolley, porte une barre horizontale légèrement convexe, dont la longueur varie de 1<sup>m</sup>25 à 1<sup>m</sup>50, laquelle glisse sous le fil conducteur avec une pression uniforme obtenue par des ressorts qui se trouvent à la partie d'attache du cadre sur la voiture. Cette barre horizontale, par son étendue et sa légère convexité, offre l'avantage sur le trolley d'assurer un contact permanent et uniforme avec le conducteur de distribution et d'éviter toute interruption de fonctionnement, à laquelle ce dernier est sujet aux croisements et aux courbes de petit rayon. Dans ce dernier cas, son avantage devient plus notable, surtout quand la vitesse est plus grande que celle qu'on adopte ordinairement, et que l'on donne par suite du surhaussement au rail extérieur de la voie.

Les inconvénients que présente le trolley à cet égard ont été étudiés d'une manière très nette et très approfondie par notre camarade, M. Dierman, dans un mémoire sur le calcul des lignes aériennes de tramways électriques, publié dans le *Bulletin de l'Association* le 22 septembre 1894.

La barre horizontale est construite d'un alliage mou qui réduit d'une façon appréciable l'usure du fil conducteur, et par suite du frottement recouvre ce dernier d'une couche de cet alliage qui contribue de beaucoup à rendre le contact plus intime. Ce procédé, préconisé par M. Short, a été employé par lui dans le contact qui porte son nom. Toute usure appréciable se supporte donc par la barre, qui est interchangeable et peut se remplacer facilement. Quant au bruit, MM. Siemens et Halske, d'après plusieurs expériences, ont fait remarquer qu'il est presque le même

que celui de trolley, et que par conséquent les deux systèmes offrent le même avantage à ce point de vue.

Pour éviter l'usure à un seul point de la barre, le fil conducteur au lieu d'être tendu suivant l'axe de la voie, forme une espèce de zigzag très allongé; par cette disposition l'usure de la barre devient uniforme et réduit considérablement les soins exigés pour l'alignement du fil conducteur, soins que l'on est obligé de prendre pour les courbes et croisements lorsque la prise de courant s'effectue par trolley ordinaire.

Un perfectionnement tout récent, introduit par MM. Siemens et Halske dans leur système, consiste dans la substitution de la barre d'alliage mou par une traverse en aluminium de forme U remplie de graisse servant à lubrifier légèrement les pièces en contact, offrant l'avantage de réduire l'usure ainsi que le bruit, et par suite de diminuer l'énergie perdue en friction.

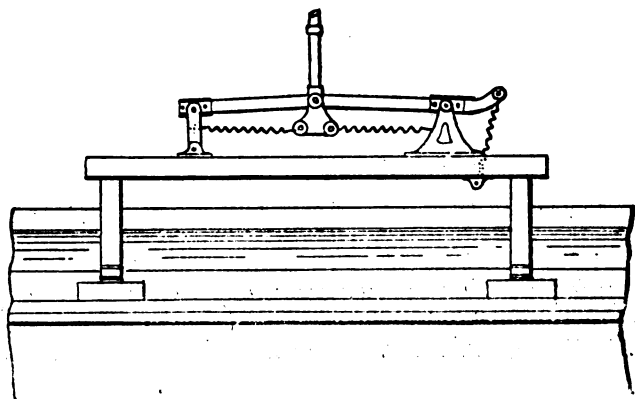


Fig. 3. — Élévation longitudinale.

Après de longues expériences, il a été confirmé que l'appareil de MM. Siemens et Halske est destiné à remplacer avantageusement le trolley ordinaire dans les installations des tramways électriques alimentés par fil

aérien. Quoique les Américains persistent dans l'emploi de leur trolley original, le contact glissant est adopté en Europe dans plusieurs installations qui attestent de ses avantages.

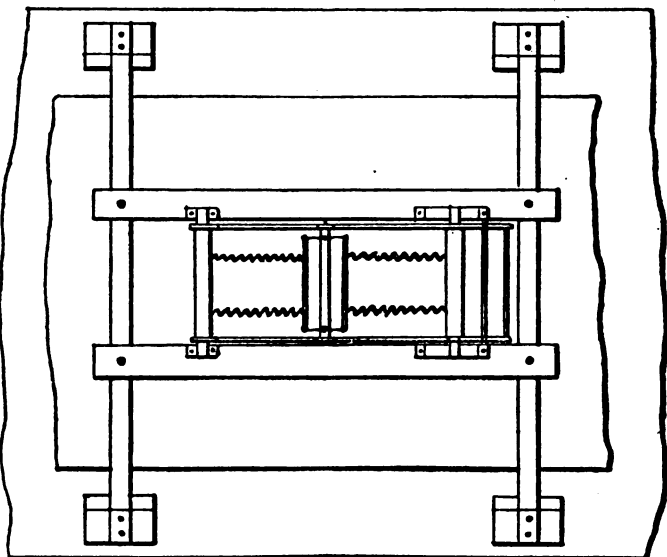


Fig. 4. — Plan de montage.

Si on se rapporte aux dernières statistiques, on trouvera son application dans les lignes de Berlin, Budapesth, Hanovre, Dresde, Vienne, Genève, Bâle, Bucharest, etc., où il fonctionne avec succès. (*Applaudissements*).

**M. Mélotte, président.** — Je remercie M. Mavroïdis de la communication qu'il vient de nous faire. Les ingénieurs sortis de l'Institut voient toujours avec plaisir leurs jeunes camarades s'associer aux travaux du Cercle. Je félicite M. Mavroïdis d'avoir inauguré, cette année, les communications de l'espèce, qui, nous l'espérons, seront nombreuses.

**M. Del Proposto**, présente au nom de **M. Cruciani**, la note suivante :

**A propos du retour du courant par les rails dans les installations de traction électrique.**

Dans les installations de traction électrique avec retour par les rails, le courant est amené aux voitures au moyen d'un conducteur aérien, ou souterrain et isolé, traverse les moteurs et retourne par les rails à l'usine génératrice. Tel est, du moins, le chemin théorique que le courant devrait suivre. Mais, en pratique, on trouve qu'il n'en est pas absolument ainsi.

Les rails sont, en effet, posés sur le terrain ordinaire, et se trouvent, par suite, dans un milieu doué d'une résistance très variable, soit à cause de la composition chimique du sol, soit à cause du voisinage de conduites métalliques pour eau, gaz, air comprimé, etc., et voire même des câbles armés pour lumière électrique, etc.

On peut donc, à juste raison, concevoir que le terrain environnant les rails constitue un circuit électrique mis en parallèle avec celui des rails. Il s'ensuit que, d'après les lois de Kirchhoff, le premier circuit devra donner passage à une certaine partie du courant, d'autant plus grande que la résistance électrique des rails est plus grande, que leur éclissage électrique est plus défectueux et que la conductibilité du sol est plus considérable.

Les courants dérivés dans le sol, que nous appellerons dorénavant *courants nuisibles*, seront, en outre, d'autant plus intenses que la force électromotrice qui les engendre est plus grande.

Cette force électromotrice est précisément représentée par la perte de voltage dans la voie (rails) de l'extrémité de la ligne jusqu'à l'usine génératrice.

Les dégâts que les courants nuisibles produisent sont de deux espèces. Ces courants circulant dans le terrain y déterminent des décompositions de toute nature et mettent en liberté des gaz et des acides qui attaquent toute masse métallique à l'endroit où ces courants la quittent.

Le terrain, tout autour de la voie, surtout en présence de conduites métalliques de conductibilité électrique discontinue, comme les conduites de gaz et d'eau, est, en réalité, sillonné par des courants allant des rails aux masses métalliques et vice-versâ, et suivant les chemins les plus capricieux. Il s'ensuit qu'une même conduite métallique peut être attaquée dans des endroits différents et plus ou moins profondément. Les rails mêmes, quoique plus lentement, sont soumis à des corrosions semblables.

Si, dans la zone influencée par les courants nuisibles, se trouve une plaque de terre d'un poste téléphonique, on conçoit que des courants dérivés puissent l'atteindre, parcourir les appareils et la ligne reliant deux abonnés et retourner, par la plaque de terre de l'autre poste, soit de nouveau aux rails, soit à l'usine.

Ces courants étant extrêmement variables, puisqu'ils dépendent de la position des voitures sur la voie et du courant requis à chaque instant par chacune d'elles, sont évidemment de nature à gêner considérablement la conversation téléphonique.

Je passe sous silence les perturbations téléphoniques dues aux effets d'induction, puisqu'elles sortent du cadre que je me suis fixé.

Pour ce qui concerne les perturbations téléphoniques considérées, il y aurait un remède qui guérirait le mal dans sa racine. Ce remède consisterait à employer des circuits métalliques complets. Cela entraînerait à des dépenses considérables et à la réfection complète des réseaux téléphoniques.

D'autre part, les sociétés concessionnaires des tramways électriques ne veulent pas renoncer au retour du courant par les rails, puisque tous les avantages de la traction électrique seraient en jeu et la rémunération du capital engagé serait très douteuse.

On a proposé et même essayé l'exploitation des réseaux de tramways par le système à trois fils. La voie jouerait le rôle du conducteur intermédiaire. Les installations de ce genre sont peu nombreuses, et sans nous étendre sur les avantages et désavantages du système, nous ferons, en passant, les remarques suivantes :

Pour un réseau à simple voie, le système n'est pas applicable sans certaines complications ; pour un réseau à double voie, la réalisation du système serait plus naturelle, mais on se heurte, en pratique, à la difficulté d'obtenir une isolation suffisante et *sûre* des deux fils de trolley aux croisements et aux aiguillages.

Puisque les moyens de guérison radicale avaient échoué pour des raisons financières, on a tenté des palliatifs.

Ainsi a-t-on essayé, entre autres solutions, d'isoler les conduites métalliques, d'abord faiblement, et puis de plus en plus fortement, jusqu'à ce que l'on eût la conviction qu'une isolation suffisante ou n'existe pas ou est excessivement coûteuse.

Dans un moment d'aberration, peut-être, on a cru réussir en donnant aux conduites métalliques le plus de discontinuité possible. On a essayé de relier les masses métalliques à des plaques de terre, aux endroits où elles accusaient des corrosions. On a tenté de renverser le courant dans les rails à des intervalles réguliers qui, à cause de l'exploitation des tramways, ne pouvaient pas être inférieurs à vingt-quatre heures. Ce moyen fut même désastreux.

De ce qui précède, il ressort clairement que les courants nuisibles ne pourront *jamaïs être annulés* aussi longtemps qu'on empruntera la voie comme retour du courant.

Puisqu'il n'est d'ailleurs pas possible de modifier la conductibilité du terrain autour des rails, on conçoit de prime abord que les moyens vraiment efficaces pour annuler ou du moins réduire considérablement les effets désastreux des courants nuisibles, sont :

- 1<sup>o</sup> Un excellent éclissage électrique de la voie ;
- 2<sup>o</sup> Une voie aussi peu résistante que possible.

Le règlement anglais, qui renferme toute une série de prescriptions dans ce but, fixe à 7 volts la différence de potentiel maximum sur le conducteur du retour (rails), entre le point le plus éloigné et le point le plus rapproché des dynamos génératrices.

Dans certains cas spéciaux, où il s'agit de réseaux peu étendus, à petit trafic et où l'usine génératrice est placée vers le milieu du trajet, il se peut que la résistance des rails éclissés électriquement soit telle que la perte indiquée ne soit pas dépassée. Mais pour des réseaux de tramway à grand trafic et de long parcours, surtout lorsque l'usine se trouve à un des bouts de la ligne ou placée très excentriquement à celle-ci, il arrive généralement que la perte de tension susmentionnée est de beaucoup dépassée.

Il s'agit maintenant de voir quels sont les moyens dont on dispose pour ramener cette perte de tension dans les limites admises.

La première idée que je présente est celle d'augmenter convenablement la section de la voie au moyen des câbles en cuivre placés le long de cette dernière et connectés aux rails tous les 25 ou 30 mètres.

Si l'usine génératrice est située au bout du réseau, les

pôles négatifs des génératrices seront raccordés aux rails et aux câbles en cuivre mentionnés. Si, au contraire, l'usine est placée excentriquement, il faudra relier à l'usine par des câbles en cuivre plusieurs endroits du réseau convenablement choisis et les raccorder aux pôles négatifs des génératrices.

Dans l'un ou l'autre cas, il s'agit de construire un *réseau auxiliaire* souterrain, qui peut être exécuté de différentes manières.

La plus simple consiste à enfouir dans le terrain des câbles en cuivre nu.

Le montage d'un tel réseau serait très facile et peu coûteux.

Cette solution ne serait pas cependant à conseiller, parce que, au bout de quelques années, les câbles en cuivre finiraient aussi par être attaqués, et on perdrait un matériel très-coûteux d'installation. Je propose d'employer des rails du commerce, connectés entre eux comme ceux de la voie, et connectés à cette dernière, comme il est dit plus haut.

On réaliserait ainsi plusieurs avantages. A savoir : on pourrait obtenir à peu de frais une conductibilité *très-grande*, pour le retour, et, au bout d'un certain nombre d'années, il serait peu coûteux de remplacer, totalement s'il le faut, le réseau auxiliaire.

On a vu dans ces derniers temps des projets de traction étudiés avec réseau auxiliaire en câbles armés.

Suivant mon appréciation, formulée à un point de vue général, un tel réseau manque son but, pour plusieurs raisons. En effet, il serait d'abord naïf de croire que le courant de retour, même avec rails totalement déconnectés, ou isolés par tronçons, ne suivrait d'autre chemin que celui offert par le réseau auxiliaire. Une bonne partie du courant,



outre les dérivations dans le terrain qui existeront toujours, s'écoulera le long de l'armature des câbles.

Ceux-ci se trouvent, dès lors, dans les mêmes conditions de tout autre conduite métallique, et à la suite des inégalités de conductance de l'armature, celle-ci finira aussi lentement qu'on veut par être corrodée, l'isolation sera mise à nu, elle pourrira, et tout le réseau au bout de quelque temps ne sera autre chose, qu'un réseau à câbles nus enfouis sous terre.

D'ailleurs, les câbles armés sont chers et généralement construits pour des tensions électriques beaucoup supérieures à celle qui règne entre les rails et le sol. Ce haut isolement n'est pas justifié. Pour effectuer les connexions avec la voie, il faut tous les 25 ou 30 mètres détruire l'armature et l'isolant, reconstituer en quelque sorte ce dernier après les connexions faites; il résulte de là un montage difficile et coûteux.

On pourrait, à mon avis, avec beaucoup d'avantages, substituer aux câbles armés des câbles en cuivre nus, suspendus au moyen d'agrafes isolantes au milieu de caniveaux en bois, et autour desquels on coulerait de l'asphalte. Celui-ci se solidifierait autour des câbles, et même si les caniveaux en bois venaient à pourrir, il resterait un ensemble très-solide et offrant une isolation suffisante pour la tension électrique en jeu.

Ces caniveaux en bois devraient être placés à une profondeur convenable pour que le bloc d'asphalte autour des câbles ne perde pas sa continuité sous l'action des fortes charges roulant sur la route. Ce système aurait pour lui le prix modéré du réseau, la facilité du montage et des connexions, et la possibilité de pouvoir remettre en état à peu de frais une partie quelconque du réseau qui eût pu se détériorer.

Le Professeur E. Thomson préconise un remède qui, pris

dans sa large acception, ne pourra jamais être appliqué en pratique. Nous verrons plus loin, cependant, que son système, à un autre point de vue, peut suggérer de nouveaux remèdes facilement réalisables.

Le système Thomson consiste à installer le long du réseau, en des points convenablement choisis, des petites forces électromotrices capables de *pomper* ou *refouler* du courant dans les rails, ou de se mettre hors circuit suivant que, selon la position des voitures sur le réseau, les rails sont positifs ou négatifs, ou enfin sont au même potentiel que le terrain environnant.

Malgré sa conception hardie, le remède préconisé ne serait que d'une *efficacité locale*; à savoir, que s'il pouvait être même réalisé pratiquement, on réussirait à annuler seulement les courants nuisibles passant des rails aux masses métalliques les plus proches et vice-versà.

Il est évident, en effet, que toutes les dérivations latérales se produisant le long d'une conduite, et provoquées par des mauvais joints ou des joints peu conducteurs, existeraient quand même, ainsi que leurs conséquences immédiates.

Pour que le remède puisse guérir le mal dans toute son étendue, il faut pouvoir envoyer de l'usine dans les rails et, par suite, dans tous les chemins dérivés que les courants nuisibles peuvent suivre, un courant dirigé en sens contraire du primitif. Ce courant donnerait à son tour naissance à des courants nuisibles qui tendraient à détruire dans tout le parcours, et le long des ramifications les plus capricieuses, ceux qui seraient produits par le courant principal issu des génératrices à l'usine.

Si ce second courant a la même intensité que le courant principal, les courants nuisibles sont évidemment *détruits partout*, et les rails sont alors complètement déchargés.

Ce serait la limite, qu'il n'est pas nécessaire d'atteindre en pratique ; il suffit de proportionner ce second courant au courant principal, de telle façon que les rails ainsi soulagés ne donnent lieu qu'à une perte de tension admissible. Tout revient donc à installer à l'usine les petites forces électromotrices du professeur Thomson, et à les relier au moyen des câbles isolés, aériens ou souterrains, aux points du réseau mentionnés plus haut.

Puisque tout le système ainsi transformé revient, en définitive, à soulager les rails, on peut perdre de vue le fait (qui, dans le système préconisé par le professeur E. Thomson, était une condition essentielle) que les forces électromotrices en question puissent envoyer, suivant le cas, et automatiquement, des courants dirigés dans l'un ou dans l'autre sens, et même se mettre hors circuit à un moment donné.

Puisque ces forces électromotrices sont maintenant installées à l'usine, et puisqu'elles doivent envoyer dans les rails des courants dirigés en sens contraire du courant principal (\*), on peut dire que ces forces électromotrices doivent *toujours pomper* du courant de ces derniers. Ceci posé, on peut s'arranger de façon à avoir à l'usine une *seule* force électromotrice, à savoir une petite dynamo, de tension très faible comme on verra, reliée avec son pôle positif aux rails, tandis que du pôle négatif émane une série de câbles se raccordant au réseau et en des points convenablement choisis. C'est, sans doute là, dans ses grandes lignes l'idée principale qui a suggéré au Dr Rasch l'article publié dans le troisième fascicule de l'*Elek. Zeitschrift*, 1896.

---

(\*) Presque toujours, les pôles négatifs des génératrices sont reliés aux rails.

En résumant tout ce qui précède, on s'aperçoit qu'on est maintenant en présence d'un système à trois fils, dont l'un des ponts est formé par le fil de trolley et la voie, et l'autre pont par la voie même et la série des câbles se raccordant au pôle négatif de la *dynamo auxiliaire*. Cette dernière n'a pour but que de forcer une partie du courant à s'écouler par les câbles, en soulageant ainsi la voie et réduisant la perte de voltage à la valeur voulue. A l'usine, la dynamo auxiliaire sera plus économiquement actionnée par un moteur électrique alimenté par les génératrices à haute tension, que par un moteur mécanique séparé. Le moteur électrique aura un meilleur rendement que celui-ci, empruntera de l'énergie produite à bon compte au moyen de grosses unités génératrices, et dispensera aussi de toute transmission intermédiaire de mouvement.

L'installation serait achevée par un tableau auquel se raccorderaient tous les câbles, chacun de ceux-ci étant pourvu de son interrupteur, de son coupe-circuit et de son ampèremètre, qui permettrait de se rendre compte à tout instant du courant en circulation.

Il serait même à conseiller de pourvoir chaque câble d'une résistance variable, ce qui permettrait d'opérer par place et après la mise en marche de l'installation le réglage définitif de tout le système, et l'adaptation de celui-ci aux conditions locales qui ne peuvent jamais être prises suffisamment en considération dans l'étude du projet.

Sans faire des chiffres, on conçoit aisément que la réalisation pratique du système ne demande guère des grosses dépenses, soit en câbles, soit en force motrice pour actionner la dynamo auxiliaire.

On verra plus loin que la section des câbles est *considérablement* inférieure à celle du réseau auxiliaire pour obtenir la même perte dans les rails.

La force motrice requise par la dynamo auxiliaire n'est guère que quelques pour cent de la force totale requise par les génératrices à haute tension, puisque la tension de la petite dynamo ne doit vaincre que la résistance ohmique des câbles.

On remarquera déjà que pour pomper des rails un courant donné, on a même le choix entre une grande tension à la dynamo auxiliaire et des sections très petites des câbles ou vice-versa. Dans chaque cas spécial, on peut proportionner les deux éléments, de sorte que la dépense annuelle en force motrice, l'intérêt et l'amortissement qu'on veut faire subir aux câbles, représentent un minimum.

Avant d'aller plus loin, qu'il me soit permis une petite digression.

Considérons un réseau de longueur  $a + b$  (fig. 1), sur

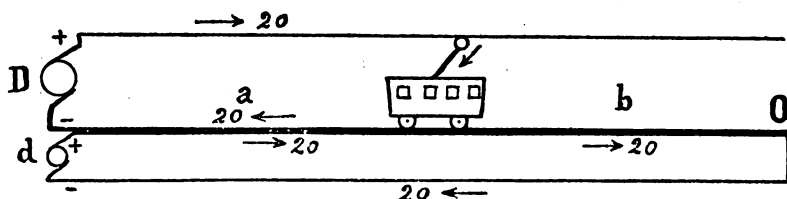


Fig. 1.

lequel circule *une seule* voiture qui demande normalement 20 ampères, et supposons avoir une dynamo auxiliaire  $d$  reliée avec un câble isolé à l'extrémité de la ligne et calculé de sorte que la dynamo  $d$  puisse pomper constamment 20 ampères des rails. Il est évident que, sur le parcours  $a$ , les courants nuisibles sont complètement anéantis, tandis qu'ils existent sur le parcours  $b$ . Cette zone influencée  $b$  augmente à mesure que la voiture se rapproche de l'usine. L'idéal serait de rendre le point  $O$

de raccordement de la dynamo *d* aux rails, *mobile avec la voiture*. Dès lors, toute zone influencée disparaîtrait par n'importe quelle position de la voiture sur la voie. Cet idéal pourrait être réalisé en pratique, mais non sans certaines complications.

On serait amené, en effet, à installer un second fil aérien, et on pourrait facilement, au moyen de la même perche de contact pour trolley, avec des parties convenablement isolées et raccordées, réaliser le point de contact O, mobile avec la voiture.

Le cas considéré est un cas limite, mais, pour des réseaux à grand trafic, les complications seraient bien plus considérables, puisqu'il faudrait, dans la plupart des cas, aménager pour le second fil aérien des feeders comme pour le véritable fil de trolley. Il est vrai d'ailleurs que, dans ce système à *double fil aérien*, puisqu'on est indépendant de la voie, on pourrait tolérer dans le fil de retour et ses feeders une chute de tension plus considérable. En tout cas, on aurait à réaliser là une sorte de système à trois fils, dont le montage et l'exploitation serait sans doute tout aussi sûre que celle des installations à simple fil de trolley.

En résumé, nous nous trouvons en présence de deux méthodes, dont le but est de réduire, le plus possible, la perte dans les rails.

Ces méthodes sont celles du *réseau auxiliaire* et celle de la *dynamo auxiliaire*.

Pour mettre en plein jour les ressources, la portée et l'élasticité de chacune d'elles, nous en ferons une application numérique à un même réseau de tramways. J'en choisis un qui servira de terme de comparaison entre les deux méthodes, puisqu'il est très remarquable par son étendue, par son trafic et par la position très défavorable de l'usine génératrice.

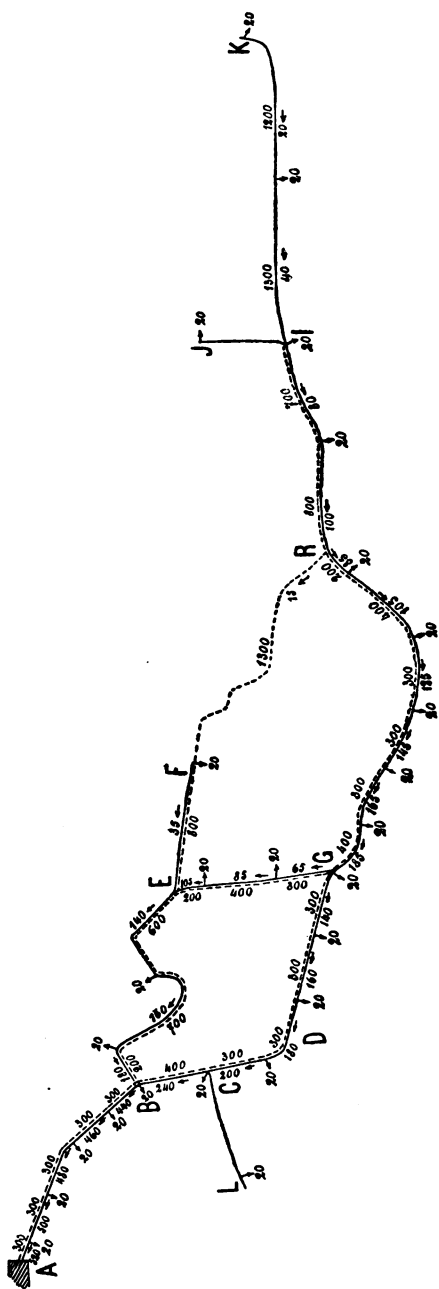


Fig 2. — Réseau de tramway avec réseau auxiliaire.

LÉGENDE : 35 ——— répartition des courants;

——— voies;

----- réseau auxiliaire;

800 ——— distance en mètres;

↓ position et courant d'une voiture.

20

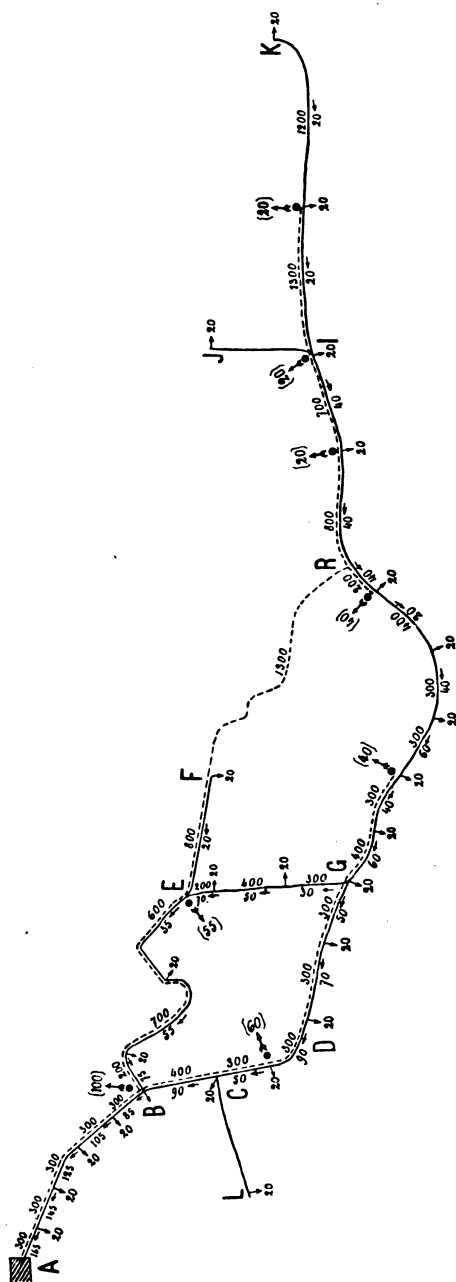


Fig. 3. — Réseau de tramway avec dynamo auxiliaire.

LÉGENDE : — voies ;  
 --- câbles (isolés des voies) ;  
 (20) — point de raccordement des câbles aux voies  
 avec indication du courant « pompé ».



Les figures 2 et 3 montrent l'emplacement de cette dernière et l'allure générale du réseau.

Les voitures en marche simultanée dans les deux sens sont au nombre de 26, et, d'après les conditions locales du terrain et les vitesses admises, chaque voiture automotrice qui traîne sa voiture remorquée demande 20 ampères.

Pour établir tout calcul, il faut se donner la position des voitures à un instant donné : ceci découle tout naturellement de l'horaire imposé ou qu'on s'est donné.

En général, les calculs doivent être établis pour au moins deux positions différentes des voitures, et, pour ne pas avoir des mécomptes, il faut choisir les positions des voitures, qui sont les plus défavorables.

Dans notre cas, eu égard à la fréquence des voitures, et puisqu'il s'agit surtout de faire la comparaison de deux méthodes, cela n'a pas d'importance ; l'essentiel est d'appliquer celles-ci pour la même position des voitures sur le réseau.

La double voie est établie partout, sauf pour les branchements C L, E F, I J.

La section totale de la double voie sur le parcours B K est de  $12\,800 \text{ mm}^2$  de fer et sur le parcours A B de  $9\,100 \text{ mm}^2$  de fer. Un kilomètre de voie double, en admettant que le fer conduit six fois moins bien que le cuivre, aurait respectivement une résistance de

$$0,102 \frac{1\,000}{12\,800} = 0,008 \text{ ohm.}$$

$$0,182 \frac{1\,000}{9\,100} = 0,011 \text{ ohm.}$$

Il faut maintenant tenir compte de la résistance des connexions des rails d'une même file.

Chaque rail a une longueur de 9 mètres, et deux rails

sont connectés par deux connexions en cuivre de 9 millimètres de diamètre. La longueur libre de chaque connexion, après pose, sera de 0,5 mètre. Dans une section transversale à la voie, on rencontre huit connexions d'une section totale de  $508 \overline{\text{mm}^2}$ .

Puisque, sur un kilomètre, il y a 110 joints de rails, à savoir 55 mètres de connexions, la résistance ohmique de celles-ci, sur 1 kilomètre de voie, sera  $0,017 \cdot \frac{55}{508} = 0,002$  ohms en chiffres ronds.

Donc 1 kilomètre de voie, sur les parcours B K et A B, aura une résistance complexe de 0,01 et 0,013 ohm respectivement ; ce qui revient à admettre, pour les parcours B K et A B, une section de fer respectivement de

$$0,102 \frac{1\ 000}{0,01} = 10\ 200 \overline{\text{mm}^2}$$

$$0,102 \frac{1\ 000}{0,013} = 7\ 800 \overline{\text{mm}^2}$$

La résistance des connexions en cuivre est ainsi implicitement comptée dans les sections calculées tout-à-l'heure. Il n'y a pas lieu de considérer les connexions transversales entre les files de rails d'une même voie et entre les files des rails du côté de l'entre-voie, celles-ci ne servant qu'à assurer au courant de retour un circuit continu, même si quelque connexion entre les rails d'une même file venait à manquer.

Ceci posé, passons d'abord à la considération du *réseau auxiliaire*. Celui-ci est indiqué en pointillé dans la fig. 2, et, pour rendre possibles les calculs, il faut supposer que le réseau auxiliaire soit, sur tout son parcours, connecté intimement avec la voie. Ceci est parfaitement admissible.

Dans le tableau suivant sont consignées les sections de

la voie, du réseau, et la section équivalente *en cuivre*, pour chaque tronçon :

|       | Section<br>de la voie. | Section<br>du réseau. | Section traduite<br>en cuivre. |
|-------|------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| K I   | 10 200                 | —                     | 1 700                          |
| I R   | 10 200                 | 350                   | 2 050                          |
| R G   | 10 200                 | 550                   | 2 250                          |
| R F   | —                      | 150                   | 150                            |
| F E   | 4 300                  | 150                   | 860                            |
| G E   | 10 200                 | 550                   | 2 250                          |
| G D B | 10 200                 | 550                   | 2 250                          |
| E B   | 10 200                 | 550                   | 2 250                          |
| A B   | 7 800                  | 2 550                 | 2 400                          |

La répartition du courant est *pratiquement* celle indiquée dans la figure.

La perte en volts pour chaque tronçon est consignée dans le tableau ci-après.

|       |      |       |      |
|-------|------|-------|------|
| K I   | 0,76 | G D B | 2,23 |
| I R   | 1,26 | E B   | 1,72 |
| R G   | 1,95 | A B   | 5 —  |
| R F E | 2,70 |       |      |
| G E   | 0,55 |       |      |

La perte de tension totale de A jusqu'à K, en prenant la moyenne de la perte par les parcours B E R et B D G R, est de 11,32 volts. Cette perte n'est pas admissible d'après le règlement anglais.

La quantité de cuivre requise par le réseau dont il est question serait de 50 tonnes et demie; si l'on veut réduire la perte totale à 7 volts, on peut facilement constater qu'il faudrait 3  $\frac{1}{2}$  fois plus de cuivre, environ. La quantité de cuivre en jeu serait donc de 177 tonnes. C'est un chiffre énorme, et on est forcément conduit à employer plusieurs câbles de section peu maniable et mis en parallèle.

Appliquons maintenant au même réseau de tramways la méthode de la *dynamo auxiliaire*. La figure 3 nous représente de nouveau les voitures dans la même position que la figure précédente. Les points marqués d'un petit cercle plein indiquent les points des raccordements des câbles à la voie. Les chiffres à côté, entre parenthèse, indiquent l'intensité du courant à pomper aux endroits mentionnés. De chacun de ces points part un câble qui se raccorde à l'usine au pôle négatif de la dynamo auxiliaire. On fait, naturellement, suivre à ces câbles les chemins les plus courts.

Les sections de la voie pour les différents tronçons sont consignées dans la 1<sup>re</sup> colonne du 1<sup>er</sup> tableau. Ceci posé, on cherche la répartition du courant, en faisant attention que les courants à *pomper* représentent des courants à *soustraire*. Cette répartition est très vite trouvée, sauf peut être pour la maille G D B E qui, à cause de ces courants à soustraire, peut présenter un certaine difficulté.

Les pertes de tension le long de la voie sont alors les suivantes :

|       |           |
|-------|-----------|
| K I G | 1,92 volt |
| G D B | 1,17 »    |
| G E B | 1,14 »    |
| A B   | 2,45 »    |

en prenant la moyenne des pertes G D B et G E B, la perte totale est de

$$1,92 + 1,16 + 2,45 = 5,53 \text{ volts,}$$

Le courant total à mettre en circulation par la dynamo auxiliaire est de 355 ampères, un peu plus que la moitié du courant total requis par les 25 voitures.

Il s'agit maintenant de déterminer la tension de la dynamo auxiliaire et les sections des câbles. Comme pour le cas du réseau auxiliaire, nous ferons abstraction des

câbles et de leur pose, et nous considérerons uniquement le cuivre *nu* en jeu.

Comme on voit, on se trouve en présence de plusieurs câbles qui doivent pomper en des points déterminés des courants d'intensité différente. La première idée qui vient à l'esprit, est de considérer tous ces courants comme des forces, de chercher leur centre de gravité et sa distance de l'usine, et opérer ensuite comme si on avait à faire à un courant unique de 355 ampères, situé dans ce point. La distance du centre de gravité de l'usine peut être estimée à 3,500 mètres.

Le problème est maintenant ramené à chercher la densité de courant la plus économique pour transporter à l'usine 355 ampères à 3,500 mètres de distance simple.

Le coût annuel du cheval-vapeur est fixé par les considérations suivantes. Le prix d'une tonne de charbon est de 25 francs. La durée moyenne de la marche journalière est de 14 heures, et en observant que la dynamo auxiliaire et son moteur demandent une surveillance presque nulle et qu'ils utilisent de l'énergie produite à bon compte par des puissantes unités génératrices, on peut estimer que le coût annuel du cheval-vapeur oscille entre 250 et 300 francs.

Nous admettrons, en outre, qu'on veuille faire supporter aux câbles un intérêt et un amortissement s'élevant à 10 pour cent par an. A l'aide des tables de M. Forbes, on détermine aisément que la densité de courant la plus économique est approximativement de 1/2 ampère par millimètre carré, alors la section du câble fictif reliant le centre de gravité à l'usine, aurait une section de  $2 \times 355 = 710$  millimètres carrés, et la tension de la dynamo auxiliaire, capable d'aspirer ce courant à travers ce câble, sera de

$$\frac{355 \times 3500}{60 \times 710} = 30 \text{ volts en chiffres ronds.}$$

Il est facile, alors, de déterminer pour chaque câble de raccordement la section correspondante.

Les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

| Points de raccordement. | Distances de l'usine. | Ampères. | Sections. |
|-------------------------|-----------------------|----------|-----------|
| 1                       | 7 900                 | 20       | 90        |
| 2                       | 6 600                 | 20       | 75        |
| 3                       | 5 800                 | 20       | 65        |
| 4                       | 5 400                 | 40       | 120       |
| 5                       | 3 000                 | 55       | 90        |
| 6                       | 3 800                 | 40       | 85        |
| 7                       | 2 200                 | 60       | 75        |
| 8                       | 1 500                 | 100      | 85        |

Le poids total de cuivre est seulement de 28 tonnes en chiffres ronds ; à savoir 6,3 fois moindre que celui requis par le réseau auxiliaire.

La force demandée par la dynamo auxiliaire à son arbre est, en admettant un rendement commercial de 0,80 seulement,

$$\frac{355 \times 30}{736 \times 0,8} = 18 \text{ chevaux}$$

et, en comptant sur un rendement égal pour le moteur électrique, l'ensemble ne demandera guère que 22 chevaux, qui ne représentent que 5 pour cent environ de la puissance totale requise aux poulies par les dynamos à 550 volts, en leur allouant un rendement de 90 %.

Les avantages de la dynamo auxiliaire sautent aux yeux.

Il est à espérer qu'une telle méthode appliquée dorénavant à tout réseau de tramway, apaisera un peu la guerre ouverte contre la traction électrique avec retour par les rails, et que celle-ci continuera, par suite, à se développer et à suivre son chemin jusqu'au jour où soit par d'autres combinaisons plus heureuses, soit par une autre sorte de courant, on parviendra à écarter tous les ennuis dont il est question maintenant. (Applaudissements).

**M. Mélotte, président.** — La solution que M. Cruciani nous propose pour le problème des dérivations du courant par la terre, dans les lignes de tramways électriques, est originale ; il serait intéressant de la voir mise en pratique.

Je le remercie d'avoir bien voulu nous la communiquer.

M. le professeur Gerard nous a fait tantôt, avec la clarté à laquelle il nous a habitués, un rapide aperçu de l'histoire des phénomènes connus sous les noms de bombardement moléculaire, de rayons cathodiques, de rayons X. Je suis certainement l'interprète de vous tous, qui êtes venus si nombreux pour l'entendre, en le remerciant de sa communication si pleine d'intérêt et d'actualité.

L'expérience, qui se poursuivait lorsque nous avons quitté la chambre noire, a été terminée par M. Gerard, et a donné la plaque que j'ai l'honneur de mettre sous vos yeux. (Voir fig. 9, p. 161).

L'heure avancée ne nous permettra pas d'épuiser l'ordre du jour ; je vous propose néanmoins d'aborder la discussion du règlement sur l'emploi de l'électricité dans les mines.

Dans une de nos dernières séances, je vous ai proposé de mettre en discussion le Règlement sur l'emploi de l'électricité dans les mines, minières, carrières et usines régies par la loi du 21 avril 1810. Ce règlement est publié à la suite d'un arrêté royal du 15 mai 1895 et a été élaboré par la Commission d'électricité. Cette dernière, instituée par arrêté ministériel du 19 décembre 1893, était composée de MM. Roberti-Lintermans, ingénieur en chef, directeur des mines, président ; J. Libert, ingénieur principal des mines, Emile Discry, ingénieur des mines, membres, et Osc. Derclaye, ingénieur des mines, membre-secrétaire.

La réglementation de l'emploi de l'électricité, qui était le but des travaux de cete Commission, n'a encore été faite dans aucun pays. Il n'y aurait donc rien d'étonnant que l'œuvre de nos collègues eût besoin de certaines corrections. C'est d'ailleurs également l'avis de ces Messieurs.

Voici, en effet, quelques phrases extraites de leur rapport :

« Il est possible que l'on doive, dans la suite, modifier ces prescriptions si les applications réalisées et les expériences effectuées en font reconnaître la nécessité » . . . . . Il se peut que l'une ou l'autre de ces prescriptions soit, dans certains cas particuliers, considérée comme trop sévère. . . . .

C'est aussi mon avis et c'est ce qui m'a amené à vous proposer la discussion de certains articles de ce règlement. Je m'empresse, cependant, de rendre un légitime hommage à la compétence de la Commission d'électricité, de laquelle trois des membres font partie de notre Association. Ces Messieurs ont fait une œuvre éminemment utile en ce que les mesures qu'ils prescrivent ont toutes en vue la sauvegarde des ouvriers. Mais, dans leur désir d'être prudent et de ne pas négliger la plus petite possibilité d'accident, peut-être ont-ils dépassé quelque peu la mesure en édictant des précautions dont l'observation serait presque prohibitive de l'emploi de l'électricité dans les mines.

Ceci dit, je vais vous exposer les quelques critiques que je crois devoir formuler.

ARTICLE 1<sup>er</sup>. — « Les générateurs, récepteurs et transformateurs électriques seront installés dans des endroits secs et bien ventilés. Ces appareils seront parfaitement isolés, au point de vue électrique, des fondations sur lesquelles ils reposent. »



Cette mesure est générale et nous la retrouverons s'appliquant également aux installations du fond.

Entendons-nous bien : je suppose qu'il s'agit ici de l'isolement de la carcasse, fonte ou acier par rapport aux fondations.

Je pense que cette règle ne doit pas être observée rigoureusement :

1<sup>o</sup> Parce qu'il se rencontre des cas où elle serait à peu près impossible à suivre, par exemple dans des accouplements directs avec des turbines de Laval, des ventilateurs, des pompes à grande vitesse. Pour ces cas, on pourrait à la rigueur employer des accouplements élastiques et isolants, joints Raffart ou autres. Les bâtis montés sur un cadre en bois reposant sur les fondations peuvent être assez bien isolés dès le principe, mais l'humidité et l'accumulation de poussières à des endroits où l'on ne peut les nettoyer ont bien vite fait de les mettre en contact à la terre. D'ailleurs les joints eux-mêmes, par l'huile et la poussière, finissent par devenir conducteurs :

Si l'on voulait un isolement parfait, il faudrait attaquer par courroie et monter les machines sur isolateurs, comme Thury l'a fait pour des stations à très haut voltage, mais ceci ne serait pas pratique et serait d'un prix extrêmement élevé.

2<sup>o</sup> Cette précaution est assez inutile ; je crois que dans l'esprit des auteurs elle est destinée à empêcher des dérivations par la terre dans le cas où deux pertes se déclareraient simultanément, l'une à la masse de la machine, l'autre dans la canalisation.

Mais cela revient absolument au même que si une perte se déclare en deux endroits de la canalisation. Si les pertes ne se déclarent pas simultanément, il est évident que l'on doit supprimer la première avant que la seconde se

produise; dans un cas comme dans l'autre, à ce point de vue, l'article 12, prescrivant de fréquentes mesures de l'isolement, doit être hautement approuvé.

3<sup>o</sup> Si cette perte existe, il peut être impossible de la déterminer par l'indicateur de terre placé sur la canalisation, comme le demande l'article 12. On se trouve alors dans une situation dangereuse. Les ouvriers ayant à travailler à la machine peuvent recevoir des secousses, qui, si elles ne sont pas graves en elles-mêmes, peuvent amener des chutes de personnes placées dans des positions dangereuses; par exemple, un ouvrier veut graisser des paliers et se penche au-dessus d'engrenages, s'appuie sur un moteur et reçoit la secousse. Celle-ci peut être suffisante pour lui faire perdre l'équilibre et le faire tomber dans les engrenages.

D'autre part on impose l'obligation de relier à la terre les supports des lignes (art. 8); il y a là un peu de contradiction.

Il me semble que l'on pourrait se borner à *recommander* l'isolement des bâtis sans le *prescrire*.

ART. 2. — « Dans les conditions de travail maximum, » la température des différentes parties du moteur ne » pourra dépasser de plus de 40<sup>o</sup> degrés centigrades la » température du milieu ambiant ».

La même règle se répète à propos des moteurs complètement enfermés dans des enveloppes, et, dans ce cas, elle est absolument prohibitive de l'emploi des moteurs électriques.

En effet, si, dans une armature parfaitement ventilée, à l'air libre, il est facile d'arriver à cette limite de température, il n'en est plus de même lorsque cette armature est entourée d'une enveloppe hermétique.

Mais quelle est la portée de cette prescription ?

Voici, je pense, ce qui l'a motivée :

Anciennement, on faisait les isolements en carton ou en toile, les fils étant recouverts de coton gomme-laqué ; or, il a pu arriver que des armatures ayant fonctionné pendant plusieurs années à des températures inconnues, les isolants se soient desséchés et même carbonisés au point qu'un simple choc a pu les faire tomber et créer peut-être des courts circuits de spire à spire ou à la masse. Ces armatures ont flambé. Quelle en est la conclusion ? C'est qu'il ne faut pas mettre d'isolants carbonisables dans des machines destinées à chauffer !

On me dira qu'il est absurde de laisser chauffer les machines, vu que cela diminue leur rendement. D'accord ; mais ceci est une question de plus ou de moins. Je puis d'ailleurs faire une machine à bon rendement qui chauffe plus qu'une machine de même puissance à moindre rendement.

Il est certain qu'une température de 100 degrés dans une dynamo ordinaire ne serait pas tolérable, parce qu'elle serait l'indice d'un vice de conception ; cependant, elle aurait pu être construite, au point de vue de l'isollement, de manière à résister à cette température ; si le carton ou la toile ne sont pas sûrs, le mica peut en supporter bien d'autres.

D'un autre côté, est-il possible de construire des machines, qui, enfermées comme l'exige le règlement, ne chauffent que de 40 degrés ? — A mon avis, c'est bien difficile. — On me dira : augmentez les dimensions pour avoir plus de surface refroidissante ? Oui, mais en augmentant les dimensions, j'augmente la longueur de fil induit, et, par conséquent l'échauffement de ces conducteurs. — Veux-je augmenter le champ magnétique pour diminuer cette perte ? Mais j'augmente alors l'hystérésis et les courants de Foucault, d'où échauffement ! Il en résulte que, pour rester dans les limites de températures prescrites,

il faudrait donner aux machines des dimensions inusitées et tout-à-fait hors de proportion avec le travail à produire.

C'est qu'il ne faut pas perdre de vue que les enveloppes hermétiques emprisonnent autour de l'armature un matelas d'air qui est un calorifuge excellent ; l'induit ne se refroidit qu'à condition d'être plus chaud que l'air ambiant, celui-ci est dans les mêmes conditions vis-à-vis de l'enveloppe, et celle-ci, par dessus le marché, doit se refroidir, sans ventilation, dans l'air extérieur.

Je sais bien qu'on a proposé de refroidir les pièces polaires en y faisant circuler un courant d'eau, mais ce n'est qu'un palliatif, et si la chose est applicable lorsque le moteur actionne une pompe, il n'en est plus de même dans le cas d'un ventilateur ou d'un cabestan placé n'importe où.

Je pense en avoir dit assez pour montrer que la limite de température imposée aurait pour effet de rendre impossible l'emploi de l'électricité dans les mines.

Je pense que l'on peut conserver cette limite pour les moteurs non fermés, mais que pour ces derniers elle doit être considérablement reculée ; que l'on fixe, par exemple, à 90 ou 100 degrés centigrades la température de la pièce la plus chaude d'un moteur, nonobstant celle du milieu ambiant ; que l'on proscrive l'emploi exclusif du carton ou de la toile pour les isolants des moteurs appelés à marcher dans ces conditions, et alors il sera possible de faire des machines pratiques.

ART. 5. — « L'emploi de conducteurs nus est autorisé (\*) » quand la différence de potentiel entre le conducteur

---

(\*) A la surface des mines...., sauf celles de la 3<sup>e</sup> catégorie, et dans les mines sans grisou.

» d'aller et celui de retour ne dépasse pas 500 volts en  
» courant continu et 200 volts en courant alternatif. »

Je pense qu'à ce point de vue on aurait pu ne pas fixer de limite et laisser la responsabilité des accidents éventuels aux chefs d'industrie ; on aurait, tout au moins, pu reculer la limite. Cette mesure ne peut avoir été prise que pour sauvegarder la vie des personnes qui pourraient venir en contact de ces conducteurs. Or, c'est trop ou trop peu, une secousse de 800 volts est certainement désagréable, mais elle n'est pas dangereuse en elle même, je le sais par expérience. J'ai un jour reçu à la tempe une décharge de 800 volts d'une dynamo dont, pour une expérience, j'avais mis un pôle à la terre, tandis que d'une main je tenais le conducteur de l'autre pôle, la secousse m'a étourdi, mais tout s'est borné là.

Il n'y aurait de danger que si la personne qui reçoit le choc se trouvait dans une situation périlleuse et que la secousse lui fit perdre l'équilibre ou faire un mouvement désordonné, comme je le disais à propos des isolements de moteurs.

Je pense donc qu'il y a là matière à revision.

ART. 19. — « . . . . Tous les interrupteurs ou commutateurs pour courants supérieurs à 10 ampères seront » bipolaires. »

J'admets que les plombs qui protègent ces circuits doivent être placés sur les deux conducteurs, mais je ne saisis pas bien la nécessité de cette règle en ce qui concerne les interrupteurs.

« *Dispositions spéciales aux bâtiments abritant les puits de mines de la 3<sup>e</sup> catégorie et aux abords de ces puits.* »

» ARTICLE 1. — L'emploi des générateurs d'électricité » est interdit.

» L'emploi de récepteurs et transformateurs électriques  
» dépourvus de collecteurs et de balais et présentant une  
» sécurité absolue dans les milieux grisouteux est seul  
» autorisé.

» Ces appareils seront, en outre, complètement enfermés  
» dans des enveloppes métalliques à joints hermétiques...»

Je ne me rends pas bien compte de la prohibition absolue des générateurs là où l'on tolère les moteurs ; enfermés, ils ne sont pas plus dangereux les uns que les autres. Je suppose que cette précaution a été prise à l'égard des dégagements instantanés qui pourraient faire refluer de grandes quantités de gaz par les orifices des puits. — Mais il faut remarquer que, même dans ces conditions, la sécurité est absolue, vu que le grisou sera dissipé longtemps avant qu'il ait pu en pénétrer dans les enveloppes hermétiques une quantité suffisante pour produire un mélange tonnant. Cette règle pourrait donc être rapportée en tant que règle, et être maintenue comme *recommandation*.

*« Installations à l'intérieur des mines.*

» ART. 4.— Commun aux mines de la 1<sup>re</sup> et 2<sup>e</sup> catégories :

» Les générateurs, récepteurs et transformateurs seront,  
» en outre, complètement enfermés dans des enveloppes  
» métalliques à joints hermétiques et disposés de telle  
» sorte que l'espace libre laissé entre un appareil et son  
» enveloppe soit minimum ».

Cet article est à rapprocher de l'article 2 qui dit que :  
» à l'exception des appareils dépourvus de collecteurs  
» et de balais, et présentant une sécurité absolue dans les  
» milieux grisouteux, les générateurs, récepteurs et trans-  
» formateurs ne pourront être établis que dans les puits,  
» sous-bures, chambres ou galeries ventillées par un  
» courant d'air pur, n'ayant passé sur aucun chantier de

» travail, et dans lesquels aucun afflux de grisou n'est à » craindre ».

Je signale en passant une espèce de contradiction : si aucun afflux de grisou n'est à craindre, pourquoi prescrire des moteurs fermés.

On me répondra que, si même aucun afflux de grisou n'est à craindre, il se pourrait que cependant, par hasard, accidentellement..., soit ; mais à ce compte là les moteurs sans balais ne sont pas plus sûrs que les autres , car il se pourrait que cependant une armature sans balais vienne à flamber, précisément le jour où l'enveloppe hermétique serait par hasard mal fermée, et qu'accidentellement il y aurait du grisou dans l'air, de sorte qu'il s'enflammerait malheureusement.....

Cela peut nous faire penser à Eschyle, malheureusement mort de la chute accidentelle d'une tortue qui passait précisément au-dessus de sa tête, ayant été enlevée par hasard par je ne sais plus quel oiseau.

Plaisanterie à part, je pense que , dans les endroits bien ventilés et où aucun afflux de grisou n'est à craindre, on pourrait se dispenser d'envelopper l'armature dans les endroits directement ventilés, où l'on pourrait craindre les afflux de grisou, que l'on enveloppe le collecteur, puisque c'est de là que peut venir le danger.

Il y a d'ailleurs un article du règlement qui prescrit d'interrompre le fonctionnement des appareils électriques lorsque la présence d'un mélange inflammable est constatée.

Que l'on réserve les enveloppes complètes pour les endroits autres que ceux ventilés directement, et que l'on réserve si l'on veut les moteurs sans collecteur pour les endroits mal aérés des mines de la troisième catégorie.

Je ne m'étendrai pas plus longuement sur ce sujet, mon

but est seulement de provoquer la discussion de mesures qui me paraissent excessives, et j'espère que mon appel sera entendu.

**M. Libert.** — Je pense qu'on s'est mépris sur la nature de la réglementation mise en discussion. Il ne faut y voir ni le texte d'une loi, ni un arrêté royal, ni même une décision ministérielle ; c'est en réalité une sorte de code d'instructions, qui peut être modifié dans chaque cas particulier. Je crois que l'avis des spécialistes sera toujours bien accueilli pour le perfectionnement de ces instructions.

**M. Mélotte, président.** — Certainement, l'œuvre est très-louable dans son ensemble et les critiques que j'ai faites ne touchent qu'à des points de détail.

Je propose de remettre la fin de la discussion à l'ordre du jour de la prochaine séance. (*Adopté.*)

La séance est levée à une heure.





## SÉANCE DU 29 MARS 1896.



*Présidence de M. Mélotte, président.*



Ont signé la liste de présence : MM. Bayet, Bertrand, Briffaux, Cabane, Collin, Compyn, Courand, De Bast, Deltenre, Everarts, Favart, Giustetti, Henrion, Jacques, Markowitch, Martin, Masson, Mélotte, Pio, Piérard, Del Proposto, Riboni, Sarra, Sturani.

Le procès-verbal de la séance du 26 janvier est adopté.

La parole est donnée à **M. Del Proposto** qui communique à l'assemblée une note :

### Sur le calcul des réseaux de tramways.

1. Quoique les tramways électriques soient aujourd'hui une des plus importantes applications de la transmission de l'énergie à distance sous forme de courant, il n'est pas encore paru, que je sache, une méthode pour le calcul des conducteurs d'une ligne ou d'un réseau.

Le choix de ces conducteurs a toujours été fait presque empiriquement ; puisqu'on ne saurait jamais appeler un calcul complet la vérification que la chute de potentiel ne dépasse pas une certaine limite.

Un conducteur d'énergie électrique, quel que soit son emploi, doit être calculé aux trois points de vue suivants :

1° Le courant ne doit pas échauffer excessivement le conducteur ;

2° La chute de potentiel ne doit pas dépasser une certaine fraction de la tension de distribution ; cette fraction étant établie d'après le mode de fonctionnement et la sensibilité des appareils récepteurs ;

3° La somme des dépenses occasionnées par la transmission de l'énergie à travers la canalisation, ainsi que pour l'amortissement de la ligne, doit être minima. On calcule les sections qui satisfont successivement aux trois conditions et on adopte la section maxima.

Dans le cas de la traction par câbles nus aériens ou souterrains, lorsque la 2<sup>e</sup> et la 3<sup>e</sup> conditions sont satisfaites, il en est de même de la 1<sup>re</sup>.

On remarquera qu'il est d'autant plus important d'envisager la question au point de vue économique que la durée annuelle du fonctionnement d'une installation est plus grande. Or, dans les projets d'éclairage, on se préoccupe bien de rechercher les sections économiques des conducteurs et cependant la durée du fonctionnement d'une installation d'éclairage n'est guère que  $\frac{1}{3}$  ou  $\frac{1}{4}$  de celle d'une installation de tramways. On ne s'explique donc pas pourquoi les conducteurs des installations de tramways ne sont pas calculés au même titre que les autres, et qu'on ait fait de si nombreuses installations en employant presque n'importe quels conducteurs. Il en est résulté qu'après plusieurs années d'exploitation on s'est aperçu que les conducteurs absorbaient trop d'énergie par effet Joule et on a cherché à y parer en ajoutant de nouveaux fils de trolley ou autrement, ce qui constitue toujours un arrangement peu satisfaisant et une complication dans le réseau.

La raison qui me paraît la plus vraisemblable pour expliquer le mode incomplet, employé jusqu'aujourd'hui pour calculer les lignes de tramways, est que les formules, telle que celle de Kelvin, qui donnent la section la plus économique des conducteurs ne paraissent pas applicables *a priori* dans le cas où les récepteurs absorbent un courant variable et sont, en outre, mobiles.

Avant de poursuivre, je crois utile de faire quelques

observations sur l'applicabilité de la loi de Kelvin. Le professeur Ayrton, en 1886, avait fait remarquer que cette loi n'est pas générale, mais ses observations ne reçurent que peu d'attention ; c'est pourquoi le professeur W. Anthony a repris récemment la question. (\*)

M. Anthony cite plusieurs cas dans lesquels la loi de Kelvin, appliquée dans sa forme ordinaire, donne des résultats absurdes, et cela parce que les conditions posées pour établir la formule définitive ne sont pas toujours réalisées. La conclusion des recherches de M. Anthony est que la loi en question n'est applicable *que lorsque l'intensité du courant ne constitue pas une inconnue du problème*, c'est-à-dire qu'elle est indépendante de la résistance de la ligne et que, partant, dans la formule, *elle est une constante*.

M. Edward Burch (\*\*), s'appuyant sur les conclusions de M. Anthony, affirme que la loi de Kelvin, dans les cas des tramways électriques, conduit à des résultats absolument erronés, parce que l'intensité du courant, loin d'être constante, varie, au contraire, constamment dans de très grandes limites. Il est évident que M. Burch a mal interprété les conclusions de M. Anthony ; sans cela, on ne pourrait appliquer la formule de Kelvin, pas même à un feeder d'une distribution d'éclairage.

Dans le cas qui nous occupe, le courant, quoique variable, est bien déterminé, si l'on admet que la chute de potentiel est nulle ou négligeable vis-à-vis de la tension de distribution. Le courant nécessaire à chaque voiture est alors fonction du poids de cette dernière, de sa vitesse, du profil et du tracé de la voie ; la résistance de la ligne n'a rien à y voir et, partant, la loi de Kelvin est applicable.

---

(\*) *Electrician Engineer*. — 31 octobre 1894.

(\*\*) *Electric-Railway-Gazette*, 27 juillet 1895.

Rappelons que la formule de Kelvin s'établit comme suit. Soit :

$i$  l'intensité du courant à transmettre,  
 $l$  la longueur de la canalisation,  
 $\rho$  la résistibilité du métal employé,  
 $s$  la section du conducteur,  
 $p$  le prix de revient du joule supplémentaire,  
 $a$  le taux d'intérêt et d'amortissement par franc,  
 $t$  le temps, en secondes, pendant lequel le courant  $i$  passe annuellement.

La dépense annuelle en énergie est

$$i^2 \rho \frac{l}{s} t p,$$

l'amortissement de la canalisation apporte une dépense

$$[m + ns] l a$$

$m$  et  $n$  étant deux constantes qui doivent être calculées spécialement pour chaque type de canalisation.

Le coût annuel de la transmission sera

$$C = (m + ns) l a + i^2 \rho \frac{l}{s} t p (1).$$

Dans cette expression, les seules variables sont  $C$  et  $s$  et, partant, en cherchant le minimum de  $C$  on obtient la formule de Kelvin sous la forme ordinaire qui donne la valeur de la section ou de la densité de courant la plus économique.

On remarquera qu'en établissant la formule (1), on a admis implicitement que  $i$  et  $l$  sont constants, c'est-à-dire que les récepteurs sont fixes et qu'ils absorbent un courant invariable. Toutefois, une simple remarque nous

permettra d'appliquer la même formule aux lignes de tramways.

Que  $i$  et  $l$  soient constants ou variables  $i^2 \rho \frac{l}{s} t$  représente toujours la perte annuelle en énergie par effet Joule dans les conducteurs. On peut poser d'une manière générale

$$i^2 \rho \frac{l}{s} t = \frac{A}{s}.$$

La formule (1) devient

$$C = (m + n s) l a + \frac{A p}{s}$$

dans laquelle les seules variables sont  $C$  et  $s$ . En cherchant le minimum de  $C$  par rapport à  $s$ , on a

$$s = \sqrt{\frac{A p}{n l a}} \dots, \quad (2)$$

qui peut servir au calcul de la section des conducteurs toutes les fois qu'il est possible, par une méthode quelconque, de calculer en fonction de la section inconnue, les pertes par effet Joule qu'on a dans les conducteurs mêmes, pendant une année.

2. Il est à remarquer que le calcul des conducteurs fait seulement au point de vue de la perte de tension, donne, dans le cas de la traction électrique, des sections généralement trop faibles. On peut montrer cela en appliquant la formule (2) à un cas très simple.

Considérons une ligne de tramways à simple fil de trolley sans distributeurs ni feeders; la station génératrice est en A. Supposons que d'après le profil de la voie, le poids des voitures et la vitesse normale de marche, on ait déterminé le diagramme des courants absorbés par

une voiture qui va de A à B puis par une voiture qui fait le parcours en sens inverse. Les départs ont lieu aux deux extrémités de la ligne en même temps et à intervalles déterminés ; les voitures sont au nombre de deux.

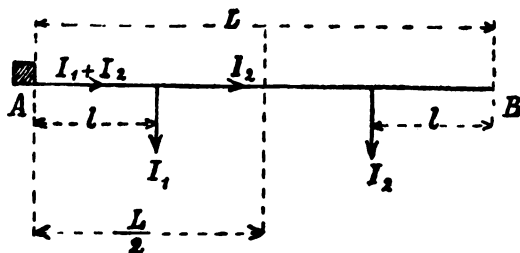


Fig. 1.

Pour ce qui regarde les pertes par effet Joule, on peut, *approximativement*, substituer aux voitures deux prises de courant d'intensité respectivement égales à

$$I_1 = \sqrt{\frac{\sum i_1^2 t}{\sum t}} \quad I_2 = \sqrt{\frac{\sum i_2^2 t}{\sum t}}$$

les quantités  $i$  et  $t$  étant, en général, les côtés des rectangles dans lesquels on peut décomposer les diagrammes des courants.

Cette hypothèse est toujours suffisamment approchée si on considère le mouvement simultané des voitures.

Considérons la 1<sup>re</sup> partie d'une course qui comprend le déplacement des voitures des extrémités de la ligne au croisement du milieu ; la position des voitures au temps  $t$  après le commencement de la course est celle indiquée dans la figure.

L'énergie élémentaire perdue par effet Joule dans un

déplacement correspondant à un temps  $dt$  à partir de l'instant  $t$  est

$$\frac{\rho}{s} [I_1 + I_2]^2 vt dt + \frac{\rho}{s} I_2^2 [L - 2 vt] dt,$$

$v$  étant la vitesse de marche qu'on suppose constante. En intégrant entre les limites 0 et  $\frac{T}{2}$ ,  $T$  étant la durée d'une course (non compris les arrêts) de A à B, on obtient

$$\begin{aligned} & \int_0^{\frac{T}{2}} \frac{\rho}{s} [I_1 + I_2]^2 vt dt + \int_0^{\frac{T}{2}} \frac{\rho}{s} I_2^2 [L - 2 vt] dt \\ &= \frac{\rho}{s} (I_1 + I_2)^2 \frac{L T}{8} + \frac{\rho}{s} I_2^2 \frac{L T}{4}. \end{aligned}$$

D'une manière analogue, on obtient l'énergie perdue dans la seconde moitié de la course

$$\frac{\rho}{s} [I_1 + I_2]^2 \frac{L T}{8} + \frac{\rho}{s} I_1^2 \frac{L T}{4}.$$

En additionnant les deux expressions et en divisant la somme par  $T$ , on obtient la *puissance moyenne perdue par effet Joule pendant une course*,

$$P_{\text{moy}} = \frac{\rho L}{s 4} [(I_1 + I_2)^2 + I_1^2 + I_2^2].$$

La valeur à substituer à A dans la formule (2) est

$$A = \frac{\rho L}{4} [(I_1 + I_2)^2 + I_1^2 + I_2^2] t.$$

J'ai appliqué le procédé ci-dessus à une ligne de tramways ayant une longueur de  $L = 1\,700$  m desservie par deux voitures pesant  $6\,300$  kg (y compris les voyageurs), marchant à la vitesse de  $13$  km par heure.

Le rendement d'une voiture a été fixé à  $60\%$ .

La racine carrée du carré moyen du courant, pour une voiture qui va de A à B, a été trouvée de  $18$  ampères et, pour une voiture qui va de B à A, de  $27$  ampères.

Il est à remarquer que le retour par la terre fonctionne, dans notre cas, exactement comme le fil de trolley et, par conséquent, absorbe une certaine quantité d'énergie par effet Joule et par les actions électrolytiques; cette énergie pourrait être calculée par le même procédé en établissant une résistance kilométrique moyenne.

Toutefois, cette perte est indépendante de la section des conducteurs métalliques; c'est pourquoi elle n'a pas d'influence sur la détermination de la section la plus économique de ces derniers.

L'expression (2), dans le cas particulier qui nous occupe, devient

$$s = \sqrt{\frac{p t \rho}{4 n a} [(I_1 + I_2)^2 + I_1^2 + I_2^2]}$$

dans laquelle  $t$  est le temps pendant lequel le courant passe dans le fil de trolley qui, d'après l'horaire établi pour les voitures, est de  $2\,820$  heures par an, c'est à dire  $2\,820 \times 3\,600 = 10^7$  secondes environ.

On peut admettre les valeurs suivantes :

$$n = 0,02; \quad a = 0,1; \quad \rho = \frac{1}{60}; \quad p = \frac{0,0002}{3\,600}$$



et on a alors

$$s = \sqrt{\frac{0,0002 \times 10^7}{0,1 \times 4 \times 0,02 \times 3\,600 \times 60} [(18 + 27)^2 + 18^2 + 27^2]} \\ = 35,6 \text{ mm}^2.$$

A cette section correspond un diamètre  $d = 6,7$  mm.

Vérifions maintenant si la chute de potentiel maxima est dans les limites voulues, c'est à dire 10 % de la tension de distribution (500 volts).

D'après les diagrammes des courants et la position réciproque des voitures à chaque instant, on détermine la position correspondant à la chute de potentiel maxima qui serait de 24 volts environ. *On en conclut que si on avait fait le calcul, se basant seulement sur la chute de potentiel maxima, on aurait trouvé une section moitié moindre.*

En pratique, on ne descend pas en dessous de 6 mm pour le diamètre des fils de trolley, de sorte que, cette fois, un praticien aurait choisi exactement le conducteur le plus économique, mais il n'en est pas toujours ainsi.

J'ai fait cet exemple numérique très simple pour démontrer l'importance de l'application de la condition du maximum d'économie et pour convaincre que le calcul basé sur la seule chute de potentiel peut conduire à des sections qui s'éloignent assez bien de la section la plus économique.

Mais on remarquera que la méthode analytique pour le calcul des pertes, que je viens d'appliquer, entraînerait à des complications considérables et serait pratiquement inapplicable si le nombre de voitures sur la ligne était seulement de quatre ou cinq. En outre, elle n'est qu'approchée, puisque la substitution d'un courant constant au courant variable absorbé par une voiture n'est pas tout à fait exacte. C'est pourquoi j'exposerai une méthode

plus simple et aussi exacte que l'on veut, laquelle s'applique avec la même facilité à tout réseau, même très compliqué.

3. — Soit une ligne de tramways de n'importe quelle longueur, desservie par un nombre quelconque de voitures. Le réseau est composé du fil de trolley, des distributeurs reliés à ce dernier et de feeders alimentant les distributeurs.

Je suppose que, d'après le profil de la voie, le poids et la vitesse des voitures, on ait calculé et dessiné les diagrammes des courants absorbés par une voiture qui parcourt la ligne dans les deux sens. L'horaire des courses étant établi à l'avance, il est toujours possible de déterminer, à un instant  $t$ , quelle est la position réciproque des voitures, ainsi que les courants absorbés par chacune d'elle. Si on se donne, par exemple, le rapport entre la section des conducteurs (fil de trolley et distributeurs), il est possible à chaque instant de déterminer la distribution des courants dans le réseau, ainsi que la valeur de l'expression  $\Sigma i^2 l$  pour chaque conducteur ayant une section uniforme.

Après un certain temps  $\Delta t$ , les voitures auront changé de position et on pourra calculer une autre valeur, de  $\Sigma i^2 l$ ; après un autre temps  $\Delta_1 t$ , on aura une troisième valeur et ainsi de suite.

Toutes ces valeurs peuvent être enregistrées dans des diagrammes ayant pour abscisses les  $t$  et pour ordonnées les valeurs de  $\Sigma i^2 l$  ainsi calculées; on aura un diagramme pour chaque conducteur. Il est à remarquer que les mêmes positions des voitures se répètent à intervalles égaux, de sorte que si on trouve la surface de ces diagrammes comprise entre deux ordonnées distantes d'un temps égal à la période, on a la valeur de

$$\int \Sigma i^2 l \Delta t$$

pendant cette période pour le conducteur considéré. Si  $N$  est le nombre de périodes pendant une année, on pourra calculer la valeur de

$$A_1 = \rho N \int \Sigma i^2 \Delta t$$

pour le fil de trolley, par exemple, ainsi que les expressions analogues  $A_2$  et  $A_3$  pour les distributeurs et pour les feeders.

Tous ces conducteurs peuvent alors être calculés à l'aide de la formule (2).

La distribution des courants dans le réseau dont il est question plus haut peut, en général, se déterminer, connaissant le rapport des sections du fil de trolley et des distributeurs seulement : l'intensité du courant qui parcourt un feeder étant, en général, la somme algébrique de ceux qui parcourent les autres conducteurs.

Il est à remarquer que si on considère comme exactes les hypothèses qu'on fait pour calculer le diagramme des courants pour chaque voiture et si on admet que l'horaire qu'on a établi se vérifie rigoureusement, la méthode que je viens d'exposer permet de calculer en fonction des sections les pertes par effet Joule avec l'approximation qu'on veut : il suffit de choisir les valeurs de  $\Delta t$  suffisamment petites. Comme cependant les dites hypothèses ne sont qu'approchées, il y a une juste limite à garder.

Ajoutons encore que même si la voie a une pente constante et si une voiture conserve une vitesse moyenne constante, le courant absorbé par son moteur est bien loin d'être constant; il varie, au contraire, entre des limites très étendues; l'inertie de la voiture joue, dans ce phénomène, un rôle très important. Le courant dans le réseau varie donc pour ces raisons, ainsi que pour les suivantes :

1° Par le déplacement des voitures sur la ligne, c'est-à-dire par le changement des conditions de fonctionnement de leurs moteurs ;

2° Parce que la charge des voitures, c'est-à-dire le nombre de voyageurs, est variable pendant une course et d'une course à la suivante.

La méthode que je viens d'exposer tient compte des premières causes de variations, mais elle néglige complètement les autres, de sorte qu'elle donne, en général, des *sections trop faibles*.

On sait, en effet, que, à égalité d'énergie transmise à travers un conducteur, la perte par effet Joule est plus grande si le courant est variable que s'il est constant ; il en est de même de la section économique du conducteur qui varie suivant la racine carrée de ces pertes.

Cependant, il est à remarquer que les variations de courant indépendantes du profil de la voie et de la vitesse des voitures sont, en général, assez faibles dans le fil de trolley, dès que le nombre de voitures reliées à celui-ci devient considérable. En tout cas, la valeur relative de ces variations décroît successivement dans les distributeurs et les feeders.

La variation du nombre de voyageurs n'a pas non plus grande influence, parce que le poids total de la vitesse ne subit pas des variations considérables de ce chef.

Je crois donc que, sauf dans des cas exceptionnels, toutes ces variations peuvent être négligées, et on peut admettre que les sections calculées d'après la méthode précédente sont à peu près exactes.

Dans le but de rendre plus clair le principe de la méthode, je vais en montrer l'application à deux cas particuliers, qui sont pour ainsi dire les extrêmes :

1° Ligne à simple voie avec croisement ;

2° Ligne à simple ou double voie avec distributeurs et feeders.

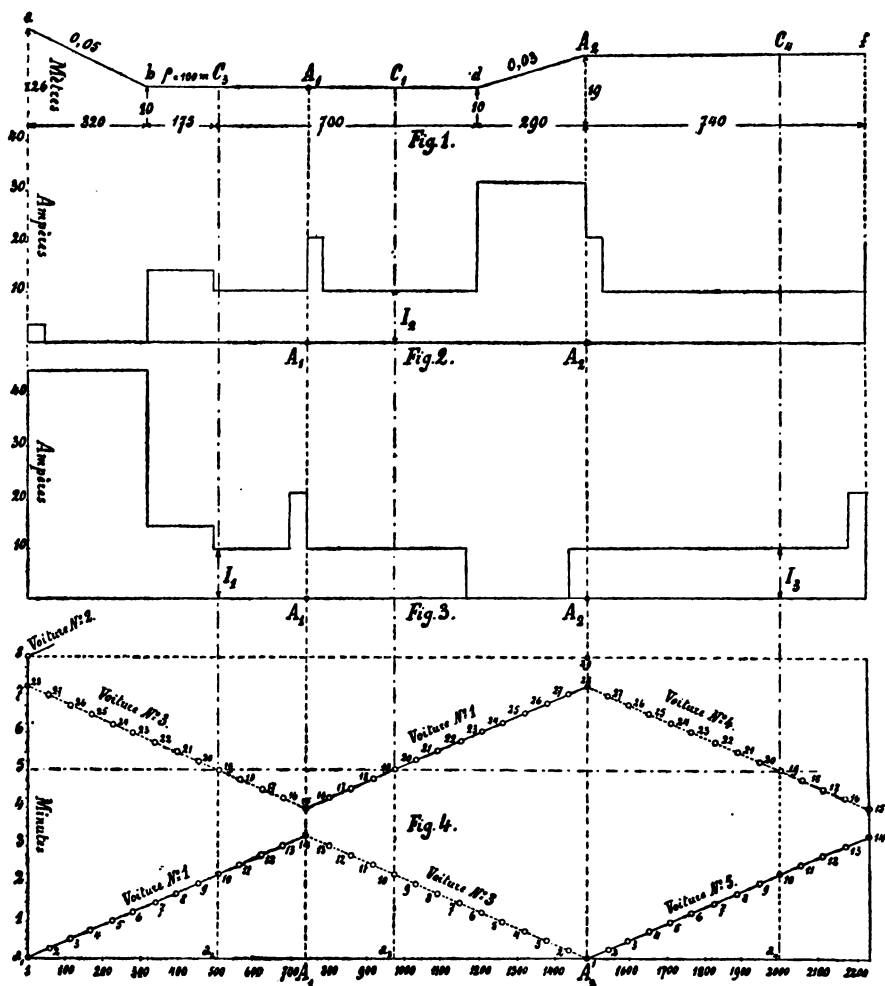


Planche I.

4. LIGNE A SIMPLE VOIE SANS DISTRIBUTEURS NI FEEDERS. — La fig. 1 de la planche I représente le profil de

la ligne ; les fig. 2 et 3 représentent respectivement les diagrammes des courants absorbés par une voiture qui va de  $a$  à  $f$  et de  $f$  à  $a$ . Remarquons que, pour calculer la puissance des machines à l'usine génératrice, on suppose que les voitures sont au complet ; pour le calcul des pertes, il est logique de compter sur un nombre réduit de voyageurs. Les voitures qui circulent sur la ligne que nous considérons sont au nombre de cinq, chacune d'elles pèse 4,000 kg. et sert pour 32 voyageurs, plus un conducteur et un agent ; la vitesse normale de marche est de 13 km. par heure et on l'a supposée constante quel que soit le profil de la voie ; il est facile de voir que la méthode est également applicable si on établit des vitesses variables. D'après la considération ci-dessus, on a calculé les diagrammes (fig. 1 et 2) en supposant que la charge des voitures est de 26 personnes, y compris le personnel de service ; de sorte que le poids moyen des voitures est de 5 750 kg. ; on a pris pour le coefficient de traction 15 kg. par tonne.

Pour pouvoir déterminer à chaque instant la position des voitures sur la ligne, on peut adopter la méthode suivante :

Il est évident que le mouvement d'une voiture, qui est uniforme, peut être représenté par une droite rapportée à deux axes, les abscisses pour les longueurs, par exemple, et les ordonnées pour les temps ; la tangente de l'angle que cette droite fait avec l'axe des ordonnées représente alors la vitesse du mouvement. Dans la fig. 4 de la planche I, on a représenté de cette manière le mouvement des cinq voitures sur la ligne. Il résulte du dessin qu'à l'origine des temps la voiture n° 1 démarre d'un des bouts de la ligne, tandis que les voitures n° 3 et 5 démarrent dans le croisement  $A_2$  ; les voitures n° 2 et 4 sont aux extrémités de la ligne. La figure représente le mouvement

des voitures sur la ligne pendant une *période* qui est de huit minutes; les diagrammes marqués en pointillé se rapportent aux voitures qui vont de l'extrémité *f* à l'extrémité *a* de la ligne (fig. 1), ceux marqués en plein se rapportent aux voitures qui font le parcours en sens inverse.

La station génératrice est placée à 100 mètres de l'extrémité *a*. Lorsqu'on a préparé les dessins comme dans la planche I, on peut commencer le calcul qui se fait assez simplement.

Considérons la position des voitures cinq minutes après l'origine des temps; ces positions sont données par l'intersection de l'horizontale tirée de 5 avec les diagrammes des mouvements; on déduit d'emblée que la voiture n° 3 est en  $C_3$  et elle absorbe un courant  $I_1$ ; la voiture n° 1 est en  $C_1$  et absorbe un courant  $I_2$ , et la voiture n° 4 est en  $C_4$  et absorbe un courant  $I_3$ . Le trait  $a_1 a_2$  (fig. 4) est parcouru par le courant  $I_1 + I_2$  et, enfin, le trait  $a_3 a_4$  par le courant  $I_3$ . — Cette distribution peut être représentée par un diagramme comme dans la fig. 2.

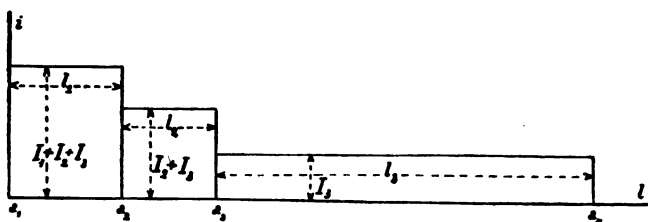


Fig. 2.

A l'instant considéré la valeur de  $\Sigma i^2 l$  est égal au double du moment d'inertie du diagramme par rapport à l'axe des *l*; la valeur de ce moment peut être déterminée par la méthode de la statique graphique ou par le calcul direct. Dans le cas particulier qui nous occupe,

il est plus rapide et plus exact de faire le calcul direct à l'aide de la règle à calcul. La valeur de  $\Sigma i^2 l$  étant calculée pour la position 19, on la calcule pour la position 20 et semblablement pour toutes les positions considérées. Nous avons considéré 29 positions correspondant en général à des intervalles de  $\frac{1}{4}$  de minute; sauf pour les arrêts aux croisements qui durent  $\frac{3}{4}$  de minute. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau suivant; ils peuvent être contrôlés très facilement à l'aide des dessins de la planche I.

| Posi-<br>tion n° | $\Sigma i^2 l$        | Posi-<br>tion n° | $\Sigma i^2 l$        | Posi-<br>tion n° | $\Sigma i^2 l$        |
|------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|
| 1                | 1,516.10 <sup>6</sup> | 11               | 0,875.10 <sup>6</sup> | 21               | 0,965.10 <sup>6</sup> |
| 2                | 0,164.10 <sup>6</sup> | 12               | 0,918.10 <sup>6</sup> | 22               | 0,930.10 <sup>6</sup> |
| 3                | 0,168.10 <sup>6</sup> | 13               | 0,940.10 <sup>6</sup> | 23               | 4,500.10 <sup>6</sup> |
| 4                | 0,174.10 <sup>6</sup> | 14               | —                     | 24               | 4,330.10 <sup>6</sup> |
| 5                | 0,180.10 <sup>6</sup> | 15               | 3,780.10 <sup>6</sup> | 25               | 4,030.10 <sup>6</sup> |
| 6                | 0,186.10 <sup>6</sup> | 16               | 0,940.10 <sup>6</sup> | 26               | 3,800.10 <sup>6</sup> |
| 7                | 0,930.10 <sup>6</sup> | 17               | 0,917.10 <sup>6</sup> | 27               | 3,56.10 <sup>6</sup>  |
| 8                | 0,965.10 <sup>6</sup> | 18               | 0,875.10 <sup>6</sup> | 28               | —                     |
| 9                | 1,015.10 <sup>6</sup> | 19               | 0,885.10 <sup>6</sup> | 29               | —                     |
| 10               | 0,885.10 <sup>6</sup> | 20               | 1,015.10 <sup>6</sup> |                  |                       |

Ces résultats sont représentés par le diagramme de la planche II, dans laquelle on a pour abscisses les valeurs de  $\Delta t$  et pour ordonnées les  $\Sigma i^2 l$ ; la surface de ce diagramme donne la valeur de

$$\int \Sigma i^2 l \Delta t$$



pendant une période; si on connaissait la section constante  $s$  du conducteur

$$\frac{\rho}{s} \int \Sigma i^2 l \Delta t$$

représenterait les pertes en joules pendant une période. L'intégration du diagramme peut se faire par la méthode

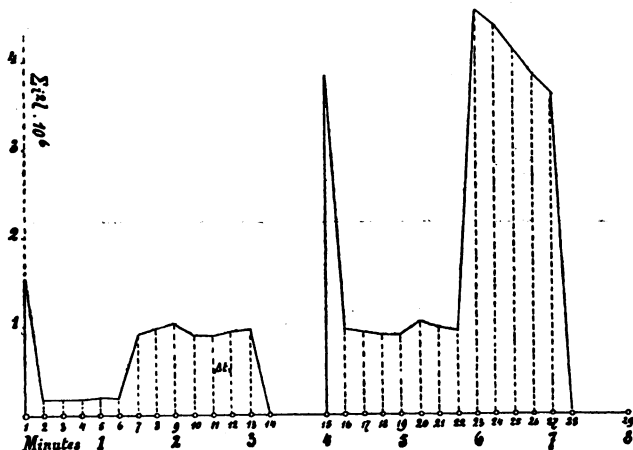


Planche II.

graphique ou par le calcul; ce second moyen est dans notre cas plus rapide. Le diagramme se compose de deux figures fermées distinctes dont les surfaces sont de :

1,215.10<sup>8</sup> ampères<sup>2</sup>-mètres-secondes;

4,295.10<sup>8</sup> ampères<sup>2</sup>-mètres-secondes;

de sorte que, dans une période, on a :

5,51.10<sup>8</sup> ampères<sup>2</sup>-mètres-secondes.

Pendant une année, le service journalier étant de 14 heures on a

$$\frac{14 \times 60}{8} \times 365 \times 5,51.10^8 = 2,12.10^{14} \text{ amp.}^2\text{-mèt.-secondes.}$$

et enfin la valeur de  $A$  à substituer dans la formule (2) est

$$\rho = \frac{1}{60} \text{ pour le Cu}$$

$$\frac{2,12}{60} 10^{14} = 3,53.10^{14}.$$

En prenant pour  $n$ ,  $a$  et  $p$  les mêmes valeurs que dans le n° 2 et pour  $l = 2320$  m. on a

$$s = \sqrt{\frac{3,53.10^{14} \times 0,0002}{3600 \times 0,10 \times 2320 \times 0,02 \times 0,1}} = 65 \text{ mm}^2$$

ce qui donne 265 kg de cuivre par voiture.

On pourrait obtenir cette section par le seul fil de trolley ou faire usage d'un conducteur auxiliaire relié au fil de trolley à chaque poteau, de manière à pouvoir considérer l'ensemble des deux conducteurs comme un conducteur unique; il faudrait alors par exemple :

Un fil de trolley de section de  $34,2 \text{ mm}^2$  et diamètre de 6,6 mm. Un conducteur auxiliaire de section de  $31,17 \text{ mm}^2$  et diamètre de 6,3 mm.

Pour déterminer la chute de potentiel maxima, il faut procéder par tâtonnement; un coup d'œil jeté sur la planche I suffit pour établir que cette chute maxima aura lieu ou dans la position 15 ou dans la position 23. La même planche fournit aisément les éléments pour le calcul qui donne une chute de potentiel maxima de 21 volts correspondant à la position 15.

Si le calcul avait été fait au point de vue de la chute de potentiel seulement, on se serait contenté d'un fil ayant une section de  $31 \text{ mm}^2$  et un diamètre de 6,3 mm qui est absolument insuffisant, puisqu'il est moindre que la moitié de celui qui satisfait aux bonnes conditions d'économie.

Il est très intéressant de connaître le rendement moyen

de la transmission ; ce rendement peut être déduit très facilement des calculs ci-dessus et des dessins de la planche I.

La perte d'énergie sur la ligne par effet Joule est égale à

$$\int_0^s \Sigma i^2 l = \frac{5,51 \cdot 10^8}{65 \times 60} = 1,41 \cdot 10^5 \text{ joules}$$

pendant 8 minutes, ce qui correspond à une puissance moyenne perdue de

$$\frac{1,41 \cdot 10^5}{8 \times 60} = 295 \text{ watts.}$$

La fig. 4 de la planche I montre que l'énergie totale dépensée pendant 8 minutes est égale à celle nécessaire pour une voiture dans une course aller et retour ; cette énergie est donnée par la somme des surfaces des diagrammes 2 et 3 moyennant un changement d'échelle des abscisses qui deviennent alors des temps. L'intégration des diagrammes donne

$$6,32 \cdot 10^6 \text{ Joule,}$$

ce qui correspond à une puissance de

$$\frac{6,32 \cdot 10^6}{480} = 13 \text{ 150 watts.}$$

La perte relative est

$$\frac{295}{13150 + 295} = 2,5 \%,$$

de sorte que le rendement est de 95,5 % ; il est donc très élevé.

5. Considérons maintenant un cas en apparence plus compliqué, qui peut cependant être traité aussi facilement que le précédent. Soit un réseau comme celui de la fig. 3.

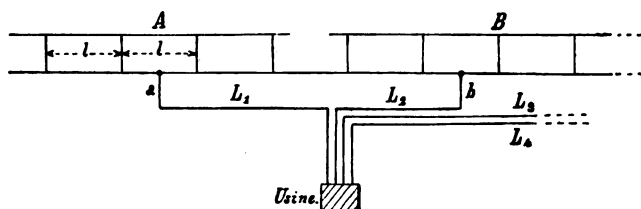


Fig. 3.

Comme dans le cas précédent, je suppose avoir calculé le diagramme des courants absorbés par une voiture ou par un train (s'il s'agit de chemin de fer électrique), en tenant compte de leur charge moyenne et des conditions spéciales du service, qui peuvent varier d'un réseau à l'autre. Pour des raisons d'ordre technique et pour faciliter le calcul, je suppose que le fil de trolley ne soit pas continu, de sorte que le réseau reste partagé en plusieurs régions telles que A, B, ..., chacune étant desservie par des feeders de longueur  $L_1$   $L_2$   $L_3$  ....

Il est à remarquer que la longueur du fil de trolley constituant un tronçon n'est pas arbitraire et, par conséquent, ne l'est pas non plus le nombre de feeders. En général, pour une ligne assez longue, comme celle que je considère, on établit à l'usine génératrice des machines hypercompound pour maintenir constant, autant que possible, le voltage aux points de raccord des feeders  $a$   $h$ ... ; il en résulte que si toutes les dynamos sont groupées en dérivation, les feeders doivent produire la même chute de potentiel moyenne.

D'après la formule de Kelvin, employée dans la forme (2), la section économique de deux feeders est donnée par

$$s_1 = \sqrt{\frac{\rho \sum i_1^2 \Delta t}{na}} \cdot p$$

$$s_2 = \sqrt{\frac{\rho \sum i_2^2 \Delta t}{na}} \cdot p.$$

Les chutes de potentiel dans les deux feeders seront égales lorsque

$$I'_m \frac{L_1}{\sqrt{\sum i_1^2}} = I''_m \frac{L_2}{\sqrt{\sum i_2^2}} \dots (a)$$

dans laquelle  $I'_m$   $I''_m$  sont les courants moyens qui parcourent les feeders, c'est à dire

$$I'_m = \frac{\sum i_1 t}{\sum t} \quad I''_m = \frac{\sum i_2 t}{\sum t}.$$

Les dénominateurs de l'expression (a) sont proportionnels aux racines carrées des carrés moyens des intensités que nous appelons  $C_1$  et  $C_2$ . De sorte qu'on a

$$L_1 \frac{I'_m}{C_1} = L_2 \frac{I''_m}{C_2}.$$

Si cette condition est satisfaite, tous les feeders auront la section la plus économique et donneront en même temps la même chute de potentiel moyenne; on évite ainsi les rhéostats de réglage des feeders qui absorbent quelquefois des fractions notables de l'énergie totale.

Pour réaliser *approximativement* la condition (b) on fera en sorte que le courant qui parcourt les feeders les plus longs soit plus variable que celui qui parcourt les feeders les plus courts, et, pour cela, il suffira en général que les

régions A, B,.... soient d'autant plus longues qu'elles sont plus rapprochées de l'usine. Il en résultera que les longs feeders seront plus nombreux que les courts et auront en général une section moindre. On sait, du reste, que le fractionnement des feeders n'augmente pas la dépense en cuivre.

D'après les considérations ci-dessus et d'autres s'il est nécessaire, je suppose que le réseau soit géométriquement déterminé. Quel que soit le nombre de voitures en service et leur vitesse dans les diverses parties de la voie, on peut toujours représenter leur mouvement à l'aide d'un diagramme analogue à celui de la fig. 4 (planche I), lequel permet aussi la détermination de la durée de la période. Cela étant, on connaît à chaque instant la position des voitures et le courant demandé par chacune d'elles; il s'agit maintenant de déterminer la distribution des courants dans tout le réseau à chaque instant. Dans le cas que nous considérons, il est évident que cette distribution peut être déterminée d'une manière rigoureuse, si on connaît le rapport  $k$  entre la section du distributeur et celle du fil de trolley, toutes les deux étant constantes, et si on admet que le voltage aux points de raccord des feeders est le même, et, en outre, est constant.

Il est à remarquer que cette hypothèse n'est qu'approchée, mais tout le calcul que nous faisons n'a pas la prétention d'être très précis; d'autre part, dans les installations de tramways, il n'y a rien qui soit constant eu égard à la transmission de l'énergie, de sorte que toute hypothèse approchée est admissible. Ainsi on peut en faire d'autres pour déterminer facilement la distribution des courants à chaque instant. c'est le critérium de l'auteur d'un projet qui détermine cas par cas quelles sont les hypothèses acceptables et quelles sont celles à rejeter.

Cela étant, je suppose que la distribution est déterminée ; on peut alors calculer par l'instant considéré, comme on l'a fait dans le cas de la simple ligne, la valeur de  $\Sigma i^2 l$  pour le fil de trolley, pour le distributeur et pour chaque feeder ; la même chose peut se faire pour un temps  $\Delta t$  après, et ainsi de suite pour toute la durée d'une période. On aura un diagramme analogue à celui de la planche II pour chaque conducteur, et on pourra les calculer tous comme on vient de faire dans l'exemple précédent. Si pour le fil de trolley on trouve une section trop petite ou trop grande, on doit répéter le calcul en changeant convenablement la valeur de  $k$  ; ce calcul, du reste, sera assez simplifié par celui fait précédemment.

On remarquera encore qu'on peut aussi adopter des sections variables pour le même conducteur ; ainsi, par exemple, on peut admettre que le distributeur soit formé par la jonction de fil de diamètre différent, cela par des considérations d'ordre différent ; la méthode s'applique également et avec la même facilité.

On pourra observer que cette méthode est assez laborieuse ; mais il est facile de se convaincre que le calcul d'un réseau tel que celui considéré en vaut la peine. Du reste, lorsqu'il sera appliqué à plusieurs installations, on aura des critères pour la résolution des cas intermédiaires par interpolation.

Je souhaite que cette étude, si elle ne résout pas complètement la question, atteigne au moins le but d'attirer l'attention des électriciens sur la question de l'économie des réseaux de tramways qui, à tort, a été jusqu'à présent trop négligée.

*(Applaudissements).*

**M. Mélotte**, président, remercie M. Del Proposto de l'intéressante communication qui vient d'être faite et

propose d'ajourner à une prochaine séance la discussion à laquelle elle pourrait donner lieu.

**M. Piérard** communique à l'assemblée deux notes intitulées :

**Les supports métalliques usuels des lignes électriques aériennes : composition et détermination de leurs dimensions.**

La construction des lignes aériennes a pris une grande extension depuis quelques années non-seulement en télégraphie et téléphonie, mais aussi pour l'éclairage électrique et plus récemment pour le transport de l'énergie à longue distance.

D'abord portant quelques fils, les lignes ont fini par devenir d'énormes artères supportant plusieurs centaines de conducteurs, et le problème de leur construction, de simple et facile à résoudre qu'il était au début, ne laisse pas de présenter aujourd'hui une certaine complexité.

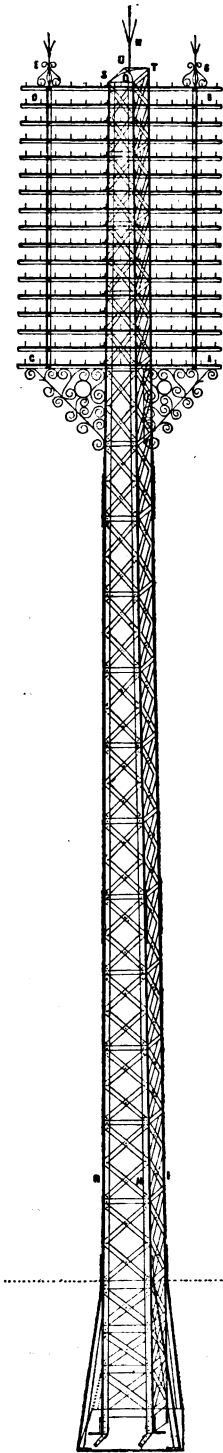
En téléphonie surtout, il s'agit de mener des nappes serrées de fils au-dessus des toits, quelquefois même des édifices, jusqu'au moment où la canalisation souterraine s'impose par raison économique et de manque d'espace, comme actuellement dans nos grands réseaux, ou est imposée par les administrations publiques pour causes de sécurité et d'esthétique, comme en Amérique.

Lorsque l'on arrive à ces nombres élevés de conducteurs, les poteaux en bois ne peuvent plus être utilisés et l'on est forcé de recourir aux matériaux métalliques.

Ceux-ci doivent être employés judicieusement, si l'on ne veut pas arriver à des constructions massives, disgracieuses et dont la résistance serait hors de proportion avec le but à atteindre.

On les emploie généralement sous forme de fers pro-





filés, principalement fers cornières, assemblés entre eux d'une manière plus ou moins rigide.

La fig. 1 représente un poteau téléphonique de 26 m de hauteur au-dessus du sol, pouvant supporter 204 fils disposés sur 17 traverses de 12 fils. Il se compose de quatre montants principaux IT, NO, RS, VU, en fers cornières de  $100\text{ mm} \times 100 \times 10$  entretoisés au moyen de fers plats de  $60 \times 10$  destinés à empêcher la flexion transversale. Les abouts des montants sont assemblés à leur partie inférieure à une plaque horizontale en fer de  $2\text{ m} \times 2\text{ m} \times 0,02$  qui s'y rattache également par poussards. Le tout est noyé dans du béton jusqu'au niveau du sol, sur une hauteur de 2 m 50 environ pour assurer un bon encastrement. Les traverses porte-isolateurs sont des cornières de  $60\text{ mm} \times 60 \times 8$ , les montants verticaux AB, CD, qui les réunissent ont la même section.

Les montants principaux sont écartés de 0 m 94 au niveau du sol et de 0 m 47 à l'extrémité supérieure du poteau. E, M et G sont trois paratonnerres à aigrettes fixés à la partie supérieure du support.

Les portées peuvent atteindre 150 à 175 m de part et d'autre.

Les hypothèses que l'on admet pour le calcul des poteaux des lignes aériennes sont les suivantes : *Tous les fils sont rompus dans une des deux portées adja-*

Fig. 1. — Poteau téléphonique métallique.

centes; le poteau est encastré à sa base; la température est celle minima qui peut se produire dans la contrée.

Soient donc  $n$  fils tendus à  $t$  kilogrammes avant la rupture et  $h$  la hauteur du point d'application de leur résultante au-dessus du sol. Le moment de renversement agissant d'un côté du poteau est  $M_1 = n t h$ .

Mais ce moment est exactement équilibré par celui dû aux fils de la portée existant de l'autre côté du poteau, si les portées sont égales et le nombre de fils le même.

Le poteau est donc parfaitement en équilibre et soumis aux seules forces de la pesanteur : poids des fils et de lui-même qui sont en général négligeables.

Si l'on se bornait à calculer ses dimensions en introduisant dans les formules de la flexion la valeur du moment  $M_1$ , les dimensions auxquelles on arriverait seraient exagérées.

Lorsque, en effet, tous les fils d'une portée se rompent, le poteau fléchit. Or, le moindre raccourcissement de la portée des fils diminue considérablement leur tension. On peut s'en assurer facilement.

La tension d'un fil tendu librement entre deux appuis placés au même niveau et situés à une distance  $a$  horizontale, exprimée en mètres est donnée par la formule :

$$t = \frac{p a^2}{8 f}, \quad (1)$$

$p$  étant le poids en kg du fil par mètre courant et  $f$  la flèche.

D'autre part

$$f = \sqrt{\frac{3 a (l - a)}{8}}, \quad (2)$$

$l$  étant la longueur réelle du fil entre les deux appuis, d'où

$$t = \frac{p a^2}{\sqrt{24} a (l - a)} \cdot (3)$$

Si maintenant nous supposons  $a = 100$  m et l'emploi d'un fil de bronze de 1 mm 6, nous verrons que le fil ayant été tendu à 23 kg 9, ce qui correspond en vertu de (1) à une flèche de 0 m 941 et en vertu de (2) à une longueur de 100 m 023, un raccourcissement de la portée de 0 m 10 seulement, soit  $\frac{1}{1\ 000}$ , fera tomber la tension à 10 kg environ ou à moins de la moitié de sa valeur primitive.

Il est donc indispensable de tenir compte de ce fait, si l'on veut utiliser économiquement la matière. D'autres circonstances viennent encore compliquer le problème.

Lorsqu'une portée se rompt, toutes les portées voisines sont modifiées et les flèches décroissent successivement pour ne reprendre leur valeur primitive qu'à l'infini.

D'autre part, les tensions dans les portées consécutives n'étant plus les mêmes, l'effort qui sollicite les divers poteaux est variable et ils fléchiront inégalement.

CALCUL D'UN POTEAU COMPRIS DANS UNE LIGNE HOMOGÈNE SUPPORTÉE PAR DES POTEAUX SEMBLABLES. — Appelons 1, 2, 3..., les portées successives à partir de la portée rompue,  $T_1, T_2, \dots$  les tensions totales dans les mêmes portées.

Sous l'effet de ces tensions, tous les poteaux vont fléchir et leur flexion sera évidemment d'autant moindre qu'ils seront plus éloignés de la portée rompue. Soient  $g_1, g_2, \dots$  les flèches successives des supports que nous supposerons rigoureusement semblables, et  $k$  la flèche

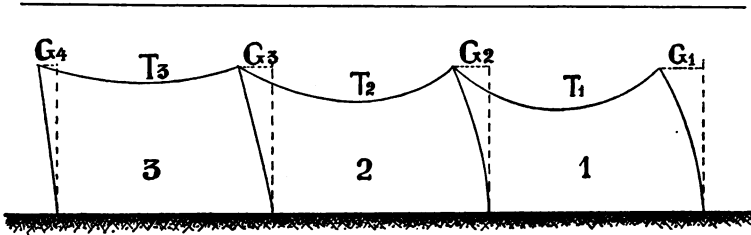


Fig. 2.

qu'ils donnent sous l'effet de la traction d'un kilogramme appliquée au point de traction résultant.

On aura la suite d'égalités :

$$\begin{aligned} T_1 k &= g_1 \\ (T_2 - T_1) k &= g_2 \\ (T_3 - T_2) k &= g_3 \\ &\dots\dots\dots \\ &\dots\dots\dots \end{aligned} \quad (4)$$

En additionnant membres à membres, on obtient la relation :

$$T_\infty k \text{ ou } T k = g_1 + g_2 + g_3 + \dots\dots\dots (5)$$

qui signifie que la somme de toutes les flèches prises par les poteaux influencés est égale à la flèche totale que peut prendre un poteau, sous l'effet de la traction  $T$  existant avant que les fils se rompent.

En d'autres termes, si l'on se bornait à calculer les appuis de manière à ce qu'ils puissent résister à la traction  $T$ , il seraient trop forts dans la proportion :

$$\frac{g_2 + g_3 + \dots\dots\dots}{g_1 + g_2 + g_3 + \dots\dots\dots}$$

Le problème se présente sous deux aspects : 1° *Etant*

donnée une ligne existante. déterminer ce que seront les tensions et par suite les flèches des diverses portées, lorsqu'une de celles-ci vient à se rompre ;

2° Calculer les poteaux d'une ligne de telle manière que si une portée se rompt, la plus grande flèche que prendront les fils dans les portées adjacentes ne dépasse pas une certaine quantité.

Notre collègue Colard a résolu ce difficile problème d'une manière très élégante par l'emploi des fonctions hyperboliques (\*).

Il est arrivé aux deux formules malheureusement un peu compliquées pour la pratique :

$$T_n = T \left[ 1 - \left( 1 + \frac{ea}{2nk} - \sqrt{\frac{ea}{nk} + \frac{e^2 a^2}{4 n^2 k^2}} \right)^n \right] \quad (6)$$

$$f_n = \frac{T_n (1 + e T_n)}{p} \left[ \cos. \text{hyp.} \frac{pl_n}{2 T_n (1 + e T_n)} - 1 \right] \quad (7)$$

dans lesquelles  $T_n$  est la tension totale dans la  $n^{\text{e}}$  portée,  $e$  l'allongement en mètres d'un mètre de fil par kilogramme de traction,  $f_n$  la flèche en mètres des fils dans la  $n^{\text{e}}$  portée et  $l_n$  la distance horizontale des points d'attache dans cette portée. Les autres lettres ont la même signification que précédemment.

Ces deux formules résolvent complètement les deux questions énoncées ci-dessus.

En faisant en effet  $n = 1, 2, \dots$  dans l'équation (6), on obtiendra les tensions successives  $T_1, T_2, \dots$  existant après rupture dans une ligne donnée. La formule (7) donnera dans les mêmes conditions les flèches successives.

---

(\*) Note sur la flexion des poteaux d'une ligne aérienne. *La Lumière électrique*, n° 25 du 23/6/94, p. 557.

L'application de cette dernière formule est toutefois un peu compliquée. En développant le cosinus en exponentielle, puis en série, on retombe, après simplification, sur la formule parabolique (1).

Quant à la résolution du 2<sup>o</sup>, on se propose de calculer les poteaux de façon que la flèche de la 1<sup>re</sup> portée  $f_1$  ne dépasse pas une quantité donnée.

On pose  $n = 1$  dans la formule (7) ce qui donne la tension  $T_1$  dans la première portée. Celle-ci introduite dans l'équation (6), dans laquelle on fait également  $n = 1$ , fournira la valeur de  $k$ . On calculera donc le poteau de manière que sous la tension  $T_1$  il fléchisse de la quantité  $k T_1$ .

En appliquant ces formules au cas d'une ligne téléphonique de 50 fils d'1<sup>mm</sup><sub>4</sub> de diamètre en bronze phosphoreux à 30 % de conductibilité pour une portée  $a = 150$  m, les fils étant tirés à 30 kilogrammes avec  $k = 0,0004$ ;  $e = 0,0001415$  et  $p = 0,013712$ , on trouve que la tension  $T_1 = 0,63 T$ , ce qui montre qu'en calculant le poteau pour la tension virtuelle  $T$ , on l'eût fait 37 % trop fort.

Avec les données indiquées ci-dessus, on constate que les tensions successives remontent très rapidement dans les portées 1, 2, 3 .... jusqu'à la valeur de pose  $T$ , en suivant la progression 945; 1295,5; 1423,8; 1471,8; 1489,6; 1496, , ce qui donne pour les forces *horizontales* sollicitant les divers poteaux 943,5; 349,1; 129,4; 48, 97,8 et 6,6. Six supports seulement sont donc pratiquement influencés par la rupture et encore les quatre derniers faiblement.

CALCUL D'UN POTEAU COMPRIS ENTRE APPUIS RIGIDES (\*). — Les formules (6) et (7) sont établies pour le cas

---

(\*) Le principe de la méthode développée ci-après a été indiqué par M. l'architecte A. Vautier.

d'une série ininterrompue de poteaux. S'il s'agit d'un poteau de dispersion ou si le poteau considéré se trouve entre des appuis rigides comme des chevalets ou des tourelles, le problème peut se simplifier.

Lorsque les fils se rompent, en effet, le poteau fléchit d'une quantité  $g$  et la tension diminue jusqu'au point où il y a équilibre entre la traction des fils et la résistance du poteau agissant comme ressort, s'il est bien encastré.

Pour déterminer cette condition d'équilibre, désignons par  $T'$  la tension des fils après la rupture et par  $f'$  la flèche correspondant à cette tension. En vertu de l'équation (1):

$$T' = \frac{n p (a - g)^2}{8 f'} \quad (8)$$

S'il est fait usage d'un poteau de section constante qu'on peut considérer comme un ressort sollicité à sa partie supérieure par une force  $T'$  agissant horizontalement, on a :

$$g = \frac{T' h^3}{3 E I} = \frac{T' h^3}{12 E (i' + s d^2)} \quad (9)$$

$h$  est la hauteur du poteau,  $E$  le coefficient d'élasticité des matériaux employés,  $i'$  le moment d'inertie d'une des cornières montant par rapport à un axe parallèle à une des arêtes et passant par son centre de gravité;  $s$  la surface de la section droite de cette cornière,  $d$  la distance de son centre de gravité à l'axe neutre de flexion du poteau. En appelant  $d'$  la distance entre le centre de gravité de la section d'un montant et une des arêtes extérieures et  $v$  la distance des arêtes extérieures parallèles à l'axe de flexion du poteau à ce même axe, on a d'ailleurs l'égalité  $d = v - d'$ .

Une troisième équation se déduit du fait que les fils conservent sensiblement la même longueur :

$$a + \frac{8f^2}{3a} = a - g + \frac{8f'^2}{3(a-g)}$$

$$\text{ou } g = \frac{a}{2} - \frac{4f^2}{3a} - \sqrt{\frac{16f^4}{9a^3} + \frac{4f^2}{3} + \frac{a^3}{4} - \frac{8f'^2}{3}} \quad (10).$$

Nous avons donc trois équations entre les quatre inconnues  $T'$ ,  $f'$ ,  $g$  et  $d$ . On se donnera  $f'$  que l'on prendra aussi grande que possible. (10) permettra dès lors de déterminer  $g$ ; (8) fournira la valeur de  $T'$  et (11) celle de  $d$  au moyen de laquelle, en vertu de la formule  $d = v - d'$  indiquée plus haut, on trouvera la largeur du poteau dans le sens des portées.

On vérifiera au moyen de la formule générale de la flexion

$$\frac{RI}{v} = ht \text{ ou } \frac{4R(i' - s d^2)}{v} = ht. \quad (11)$$

que la tension  $R$  par unité de surface des fibres le plus fatiguées n'est pas trop grande.

APPLICATION. — Calculer un poteau métallique de 32<sup>m</sup>50 de hauteur au-dessus du sol, supportant 50 fils de 1<sup>mm</sup>4 tendus à 30 kg à 18°. Le point d'application des divers efforts de traction est situé à 32<sup>m</sup> au-dessus du sol; la portée des fils de part et d'autre du poteau est de 150<sup>m</sup>.

Nous supposerons, conformément aux hypothèses indiquées précédemment, que tous les fils se brisent d'un côté du poteau, par une température de — 10°. La tension est alors (voir les tableaux relatifs au fil de bronze) 39 kg 95. Arrondissons à 40 kg. Avant la



rupture, la flèche est  $f = 0{,}988$ ,  $a = 150^m$ . Quand à  $f'$ , flèche qu'auront les fils après la rupture, nous admettrons qu'elle pourra atteindre  $2^m$ . Donc  $f' = 2^m$ .

L'équation (10) nous donne  $g = 6$  cm.

L'équation (8) nous donne  $T' = 962$  kg.

Choisissons des cornières de  $100 \times 100 \times 10$  dont la section  $s = 19,2$  cm<sup>2</sup>  $d' = 2,85$  cm et  $i' = 180$ . (9) nous donnera, en exprimant toutes les longueurs en cm et donnant à E la valeur 20 000 000 :

$$d = 33,6 \text{ cm.}$$

La distance des fibres le plus fatiguées à l'axe neutre de flexion sera donc  $v = d + d' = 33,6 + 2,85 = 36$  cm environ et le côté du poteau dans le sens des nappes de fils sera de 72 cm.

Vérifions maintenant que la tension n'atteint pas une valeur dangereuse. La formule 11 donne  $R = 12,65$  kg par mm<sup>2</sup>.

Cette valeur est élevée et ne pourrait certes être admise si elle était permanente. Mais il faut remarquer que l'état d'une ligne dont des portées entières sont rompues représente une situation accidentelle et momentanée à laquelle on remédie le plus tôt possible. La limite d'élasticité étant encore loin d'être atteinte, il n'y aura aucun danger à maintenir les dimensions trouvées.

Transversalement, le poteau pourra être de dimensions beaucoup plus restreintes, les seuls efforts latéraux qui peuvent agir étant, en effet, la poussée du vent et le poids des hommes qui doivent y monter. Ces efforts seront, en général, minimes, ce qui permettra de réduire considérablement la largeur occupée par le support.

Ceci est avantageux, car les faisceaux de fils sont généralement orientés suivant la longueur des rues et il convient

de limiter, surtout transversalement, l'encombrement des supports.

Le cas de l'emploi de poteaux à forces parallèles est assez rare. En pratique, on leur donne, par raison d'esthétique, une section légèrement décroissante avec la hauteur (inclinaison  $\frac{d'I}{100}$  environ sur la verticale) en sorte que la formule (9) n'est pas applicable.

Il conviendra, alors, de mettre à contribution les procédés graphiques. On tracera la courbe dérivée seconde de l'élastique par points au moyen de la formule connue

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{EI}{M}$$

en donnant à  $M$  et à  $I$  les valeurs calculées pour les points considérés. Une première intégration obtenue en planimétrant la surface délimitée par cette courbe, l'axe des  $x$  et ses deux ordonnées extrêmes donnera la courbe dérivée première, et une seconde intégration fournira celle de l'élastique, de laquelle on déduira directement la flèche du poteau en fonction de la force  $T'$  qui lui est appliquée. En faisant varier l'écartement des cornières choisies, on arrivera à obtenir la flèche voulue.

Nous n'avons envisagé, jusqu'ici, que le cas de poteaux en alignement droit. Pour ce qui concerne les poteaux d'angle, on les consolide au moyen de haubans, dont la traction équilibre exactement celle due à l'obliquité des fils afin de réduire leurs dimensions.

**LES CHEVALETS MÉTALLIQUES.** — L'implantation de poteaux, dont les dimensions s'exagèrent avec le nombre de fils, se heurte souvent à des difficultés insurmontables particulièrement dans les grandes villes. On recourt alors aux chevalets.

Ceux-ci sont constitués par des fermes ABDE, fig. 3, dont les poinçons AB servent à fixer les traverses porte-isolateurs. Les fig. 3 et 4 représentent un chevalet d'une capacité de 180 fils disposés sur 12 traverses de 15 fils. Les entrails AE, AD et le poinçon AB sont constitués par des doubles cornières de  $80 \times 80 \times 10^{\text{mm}}$ ; les arbalétriers BE, BD, par des cornières de  $70 \times 70 \times 8$ ; les traverses porte-isolateurs par des cornières de  $60 \times 60 \times 8$ ; les barres de triangulation par des fers rectangulaire de  $60 \times 10$ . Les isolateurs sont espacés de  $0^{\text{m}}32$  et les traverses de  $0^{\text{m}}36$ .

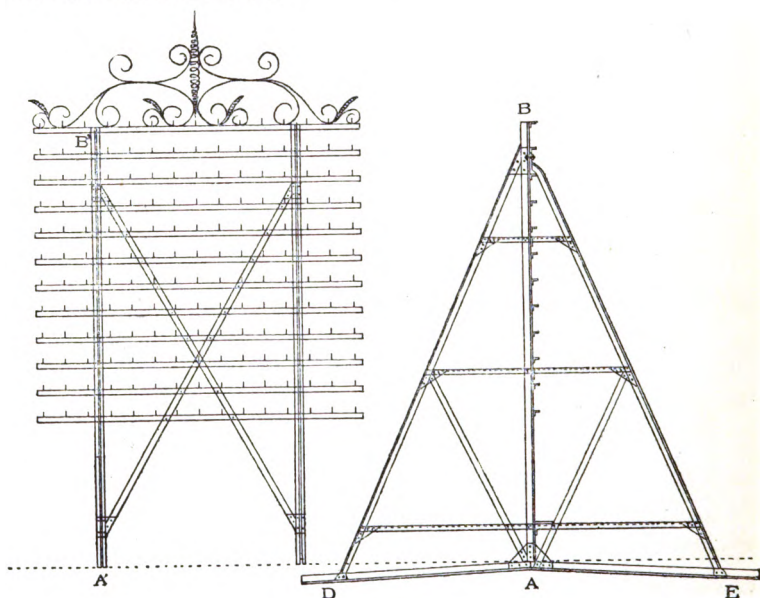


Fig. 3 et 4. — Chevalet métallique pour fils perpendiculaires à l'arête de la toiture.

Il convient d'installer les chevalets de manière à détériorer le moins possible les toitures et éviter d'une manière absolue l'infiltration des eaux.

Supposons, circonstances le plus difficiles, l'emprunt d'un toit en tuiles. On commencera par poser, dans le creux de la rangée de tuiles qui va supporter l'entrait des fermes, un madrier en bois F, fig. 5, qu'on recouvrira d'une plaque de plomb laminé GH dont les bords atteignent les déclivités des deux rangées adjacentes de tuiles.

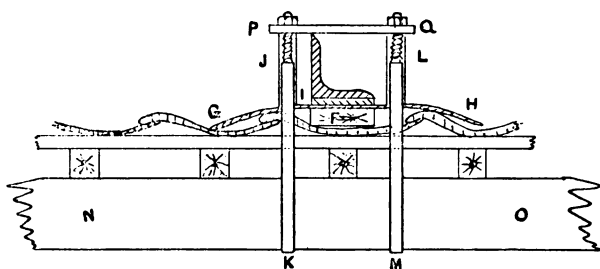


Fig. 5.

Au droit de F vient une bande de feutre très fort I sur laquelle reposent les entrails A D, A E. Pour assurer la fixation de ceux-ci à la charpente, deux étriers en fer J K, L M, embrassant une ferme N O, sont réunis par deux clames en fer P Q, reposant sur l'entrait et boulonnés fortement. Des tubes en zinc entourant les étriers et soigneusement soudés à la feuille de plomb préviennent les infiltrations à la traversée de cette dernière.

S'il s'agit d'une toiture en ardoises, les madriers F peuvent être supprimés.

Nous avons supposé, ce qui se présente le plus généralement, que les fils étaient approximativement perpendiculaires au faîte de la toiture.

Lorsqu'ils lui sont plutôt parallèles, un système de fermes épousant encore la forme du toit, fig. 6, sert à l'édification d'une espèce de plate-forme horizontale, sur laquelle viennent se fixer les entrails dès lors horizontaux des diverses fermes.

Les fig. 6 et 7 donnent les deux vues verticales d'un chevalet de l'espèce d'une capacité de 572 fils. Les arbalétriers sont des cornières de  $60 \times 60 \times 10$ ; toutes les autres pièces sauf les barres de triangulation et les traverses isolateurs de même dimension que précédemment, sont des fers T de  $80 \times 80 \times 12$ .

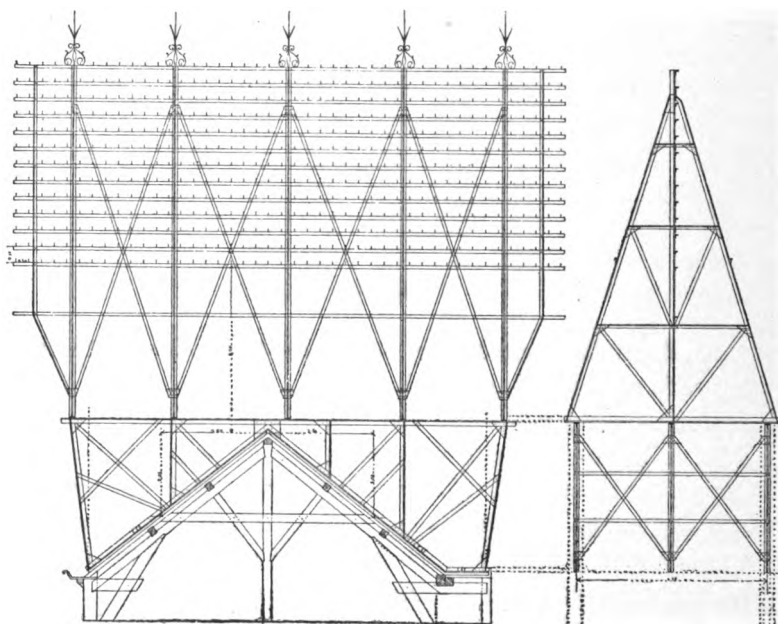


Fig. 6 et 7. — Chevalet (fils parallèles au faite de la toiture).

Le calcul des éléments constituant les chevalets ne présente pas de difficulté spéciale. Le plus simple est de recourir aux procédés de la graphostatique, en décomposant le chevalet en ses éléments : les diverses fermes qui sont semblablement sollicitées par des nappes égales de fils. Comme pour les poteaux, on supposera tous les fils brisés d'un côté.

### L'attache Manne des fils aériens aux isolateurs pour lignes à grandes portées.

M. Manne, gérant de la fabrique de bronze phosphoreux Montefiore, à Anderlecht, s'est attaché à résoudre le problème de la pose des conducteurs aériens, de manière à leur assurer une stabilité maxima.

Partant de ce fait que les variations de tension et de flèche des fils résultent de ce que leurs points d'attache étant invariablement fixés, les allongements ou les contractions ne peuvent se produire qu'au détriment de la courbe d'équilibre qu'ils affectent, ce qui rend considérables ces variations, cet inventeur a visé à rendre, contrairement à l'usage courant, entièrement mobiles leurs points d'attache.

Il a, dans ce but, imaginé l'intéressant dispositif représenté ci-dessous. P est une pince en bronze à mâchoire plate légèrement rainurée, servant à fixer le fil par pres-

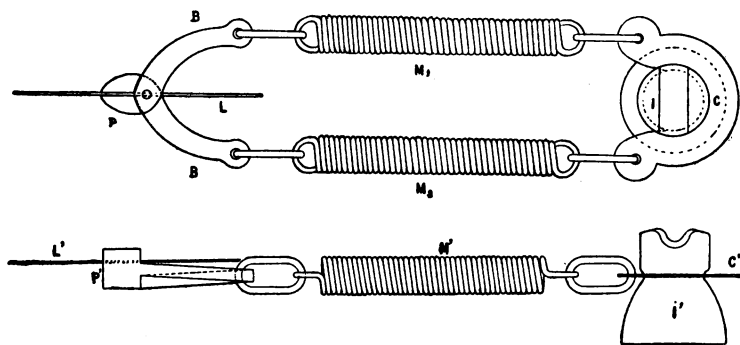


Fig. 1.

sion. Les deux bras B B se rattachent aux extrémités de deux ressorts à boudin  $M_1$   $M_2$  très flexibles, fixés d'autre

part à un pièce courbe plate C, qui se passe au col de l'isolateur. Le tout est maintenu en place par la forme même de C et de l'isolateur. Le métal employé est exclusivement le bronze, pour éviter toutes causes de détérioration par les agents atmosphériques.

La pince doit être façonnée différemment suivant le diamètre du fil à mettre en œuvre, afin d'obtenir un serrage uniforme sur toute la longueur de la partie pincée. L'entrée de son bec sera légèrement ouverte pour éviter la pliure du fil sur des arêtes trop vives.

Les ressorts sont gradués empiriquement, de façon à se déformer d'une manière permanente, lorsque la tension du fil dépasse une certaine valeur.

Entre la tension de pose et cette limite que l'on se fixe, l'élasticité du ressort, beaucoup plus large que celle du fil, lui vient en aide de manière à assurer à la courbe d'équilibre que prend le conducteur la moindre déformation possible.

Si, par exemple, le fil se détend sous l'effet de l'élévation de la température, les ressorts absorbent cet allongement, la flèche ne varie pas sensiblement; seule la tension diminue, mais moins rapidement que dans le cas du fil invariablement attaché à des isolateurs d'arrêt.

Au contraire, si le fil se contracte par l'effet du froid, la traction qu'il exerce augmente, les ressorts se tendent, et comme la flèche qu'ils prennent est très grande pour un faible effort supplémentaire, ils empêchent automatiquement tout excès de tension.

En résumé, les facteurs flèche et tension varient moins que dans une portée ordinaire, et le bris du fil devient pour ainsi dire impossible, vu la déformation permanente des ressorts lorsqu'une limite dangereuse est atteinte.

Cette déformation permanente rend visible le danger et

provoque ainsi la réparation avant que le conducteur soit détérioré.

De ce que l'on est maître de déterminer la tension maxima à laquelle sera soumis le brin conducteur, il en résulte qu'on peut, sans inconvénient, le faire travailler normalement sous une tension de pose beaucoup plus considérable que s'il était arrêté aux isolateurs.

Considérons, par exemple, l'emploi de ressorts atteignant la déformation permanente sous une charge de 70 kg et une portée de 500 m en fil de bronze de 1,4 mm à 30 % de conductibilité.

A la température de 15°, on pourra poser le fil sous la charge de 50 kg, d'où résultera, en vertu de la formule

$$f = \frac{p a^2}{8 T},$$

dans laquelle  $p$  est le poids du fil en kilogramme par mètre de longueur,  $a$  la portée en mètres et  $T$  la tension en kilogrammes, une flèche de 8,50 m.

Posé de la manière habituelle, le même fil ne pourrait être tendu qu'à 30 kg environ et sa flèche serait de 13,50 m.

L'attache Manne permettrait donc, dans ce cas spécial, d'utiliser, de part et d'autre de la portée, des supports moins élevés de 5 m. La réduction de hauteur pourrait même être plus grande encore si l'on considère que les variations de flèche du fil ainsi tendu seront moindres que dans une portée posée comme à l'ordinaire.

Pour une portée d'un kilomètre, on pourrait bénéficier d'une diminution de hauteur des points d'appui de 27,75 m !

Un autre avantage réside dans la grande mobilité transversale laissée au fil.

Lorsque celui-ci est arrêté à un isolateur, le balance-



ment qu'il prend sous l'effet du vent fatigue surtout la section dangereuse qui est celle touchant la ligature à l'isolateur.

Au contraire, dans le dispositif que nous étudions le fil peut se déplacer transversalement avec la plus grande facilité, toute la fatigue étant supportée par les ressorts à boudin de beaucoup plus flexibles.

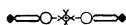
Enfin, la pose est singulièrement abrégée, puisqu'il suffit de pincer le brin dans la mâchoire, le tendre à la tension voulue et accrocher le collier C au col de l'isolateur.

Le système, qui serait coûteux pour les petites portées, se recommande pour les lignes à très grandes portées, où il devient économique à cause de la diminution de hauteur des supports qui résulte de son application, indépendamment d'un entretien moindre, la ligne étant plus stable.

Il va être appliqué au Congo pour la traversée du Congo en face de Matadi. Quatre fils de bronze phosphoreux de 2 et 3 mm de diamètre à 30 % de conductibilité y traverseront le fleuve en une seule portée d'un kilomètre. *(Applaudissements).*

L'Assemblée décide l'envoi d'une adresse de félicitations à M. le professeur Gerard, à l'occasion de sa nomination dans l'Ordre de Léopold, dont la nouvelle parvient précisément au cours de la séance.

La séance est levée à midi et demie.



## CHRONIQUE.

*Informations.* — Nous apprenons le mariage de notre camarade M. Firket, Victor, avec M<sup>lle</sup> Jeanne Ménage.

## SÉANCE DU 26 AVRIL 1896.



*Présidence de M. Mélotte, président.*



Ont signé la liste de présence : MM. Alfieri, Baffrey, Bailly, Biske, Briffaux, Cabaine, Cavalieri, Choulguin, Collin, Couraud, De Bast, Deltenre, Henrion, Huillet, Lachèze, L'Hoest, Masson, Martin, Mélotte, de Merona, Pierron, Pio, Del Proposto, Ransy, Renwart, Rhoné, Robert, Sturani.

**M. Mélotte, président**, communique à l'Assemblée une lettre de M. le professeur Gerard, par laquelle le vice-président d'honneur de l'Association adresse ses remerciements pour les félicitations qui lui ont été envoyées lors de la dernière séance.

Au nom du Comité, il présente ensuite les candidatures de membres associés suivantes :

**M. CLÉMENCIN**, lieutenant d'artillerie, ingénieur à la Société Lyonnaise des Forces motrices du Rhône ;

**M. HANAPPE**, professeur à l'École provinciale des Mines du Hainaut ;

**M. DEBACHY**, répétiteur à la même école.

En présentant ces candidatures, le Comité a l'honneur d'informer MM. les membres de l'Association qu'il a décidé de n'en plus proposer d'autre, jusqu'à la prochaine révision des statuts.

MM. De Bast, Del Proposto et L'Hoest présentent ensuite la candidature de M. AUFORT, comme membre effectif.

Ces différents candidats sont élus à l'unanimité.

La parole est donnée à **M. De Bast** pour continuer sa communication intitulée :

### La pratique actuelle des installations de tramway électrique. (*Suite.*)

Les circuits électriques des voitures en service constituent, en somme, des branchements mobiles dérivés entre deux distributeurs raccordés aux dynamos fixes de la station centrale, ces distributeurs étant le fil de trolley d'une part, les rails et la terre d'autre part.

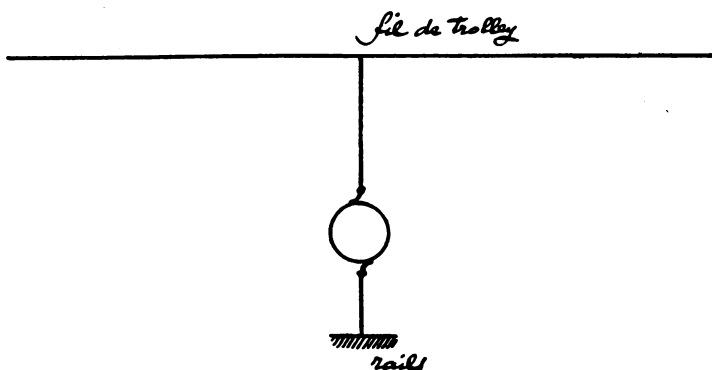


Fig. 1.

Le fil de trolley est ordinairement de section circulaire et en cuivre étiré ; plus rarement en bronze phosphoreux ou siliceux de haute conductibilité. Pour lui conserver la souplesse nécessaire à la pose, on ne peut guère lui donner plus de 8 à 9 mm de diamètre.

Lorsque la ligne à desservir est courte et les voitures en activité peu nombreuses, il peut suffire de connecter le fil de trolley en un point seulement aux machines génératrices (fig. 1). Mais, en général, on est obligé d'alimenter le fil de trolley en plusieurs endroits par des feeders pour assurer une uniformité satisfaisante de la tension de distribution et ne dépasser en aucun point du conducteur la densité de courant maxima admissible. Dans ce cas, on a l'habitude de fractionner le fil de trolley en une série de tronçons indépendants, reliés chacun par un feeder à la station centrale (fig. 2). Un interrupteur et un coupe-circuit de sûreté sont intercalés dans chaque feeder à l'usine. Grâce à cette disposition, il est possible d'isoler une section de la ligne, sans interrompre le service sur les autres sections. Si un court-circuit se

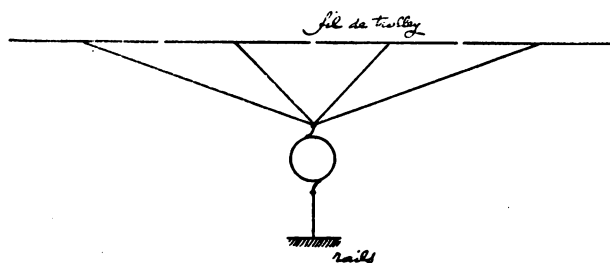


Fig. 2.

produit en un point de la voie, l'afflux de courant qu'il provoque n'intéresse, dans ces conditions, qu'un seul feeder, et, en fonctionnant, le coupe-circuit de ce dernier ne met que le tronçon correspondant du fil de trolley hors circuit.

Quelquefois un même feeder dessert plusieurs tronçons consécutifs du fil de trolley auxquels il est raccordé en un ou deux points (fig. 3). Chacun des branchements de

raccordement est alors pourvu d'un coupe-circuit fusible et d'un interrupteur.

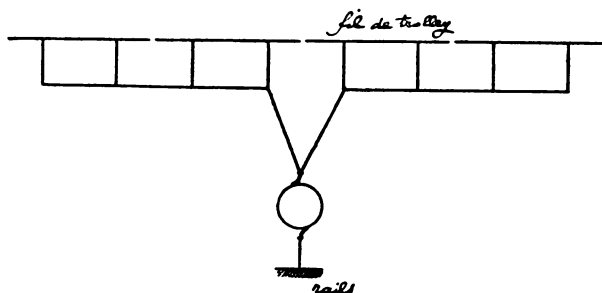


Fig. 3.

Quand le nombre des voitures simultanément en marche est très considérable et que celles-ci se suivent de près, on peut être amené à doubler le fil de trolley sur toute sa longueur d'un conducteur auxiliaire relié en de multiples points à ses tronçons par l'intermédiaire de fils fusibles et alimenté par des feeders (fig. 4).

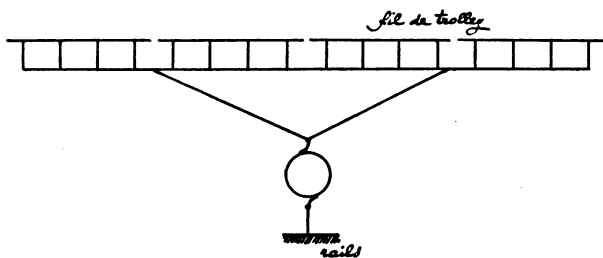


Fig. 4.

Le mode de suspension du fil de trolley varie suivant les conditions locales. Quand la voie ferrée s'étend sur le côté de la rue, on peut fixer le fil à des consoles portées par des poteaux plantés, de distance en distance, sur le bord du trottoir voisin. De même, lorsqu'une ligne à double voie suit le milieu d'une large

chaussée, on peut recourir à une rangée de poteaux disposés dans l'entrevoie et soutenant des consoles doubles. Si la présence des poteaux dans l'axe de la rue constitue une entrave pour la circulation, on peut attacher le fil de trolley à des fils de support tendus, en travers de la voie, entre des poteaux reportés sur les trottoirs. Les poteaux sont souvent utilisés en même temps comme supports des lampes servant à l'éclairage public. On évite complètement l'encombrement qu'ils peuvent occasionner, en ancrant les fils transversaux aux façades des maisons.

La différence de potentiel de distribution étant généralement assez élevée (500 volts) et la terre faisant partie du circuit de retour, il importe que l'isolement du fil de trolley soit bien assuré. Aussi ne se contente-t-on pas, dans les installations soignées, d'interposer un isolateur entre le fil de trolley et le fil transversal ou la console qui le soutient; on isole, en outre, le fil de support des poteaux ou des rosaces d'ancrage auxquels il est fixé et l'on garnit la console d'un revêtement mauvais conducteur à l'endroit où l'isolateur maintenant le fil de trolley est attaché.

L'isolateur supporte le fil de trolley par l'intermédiaire d'une pièce métallique de forme allongée qui porte, en Amérique, le nom d'*oreille*. L'oreille doit tenir solidement le conducteur sans constituer une gêne pour le passage du trolley.

En vue de faciliter et d'accélérer la pose de la ligne électrique aérienne, on a imaginé plusieurs systèmes d'oreilles retenant le fil de trolley par simple serrage entre deux sortes de mâchoires. Mais, pour avoir une prise suffisante, celles-ci doivent contourner inférieurement le fil de trolley : la surépaisseur qui en résulte entrave toujours plus ou moins le roulement régulier du trolley.

Sous ce rapport, comme sous celui de la durée, le mieux est une oreille de bronze, coulée en une pièce et creusée en dessous d'une rainure semi-circulaire allongée dans laquelle le fil de trolley est soudé (fig. 5). Ainsi la face



Fig. 5.

inférieure de roulement du fil de trolley demeure libre. L'oreille est vissée après l'isolateur : à cet effet, elle présente supérieurement au milieu de sa longueur une tige filetée ou un trou taraudé.

En certains points de la ligne, on utilise des oreilles un peu différentes du type normal.

Le fil de trolley est livré par les fabricants en longueurs de 800 ou 1600 mètres environ : lors de sa pose, on effectue le raccordement des longueurs successives, en des points supportés, à l'aide d'oreilles percées de deux trous à travers lesquels on passe les extrémités jointives des conducteurs, qu'on replie ensuite en crochet (fig. 6). La liaison mécanique et électrique est assurée par la soudure des fils dans les rainures que présentent les faces inférieure et supérieure de ces oreilles. Une saillie arrondie guide le trolley au passage d'un tronçon de fil au suivant.



Fig. 6.

Quelquefois les conducteurs alimentant le fil de trolley sont reliés à celui-ci par l'intermédiaire d'oreilles pourvues de buselures dans lesquelles les bouts de ces conducteurs sont maintenus par des vis de serrage (fig. 7).

Les isolateurs auxquels les oreilles sont fixées doivent non seulement posséder une résistance d'isolement consi-

dérable, mais encore présenter les qualités mécaniques nécessaires pour résister aux secousses produites par le passage des trolleys et aux coups que peut occasionner le redressement brusque d'un mât de trolley lorsque la



Fig. 7.

roulette déraille. De bons résultats ont été obtenus par l'emploi, comme diélectrique, d'une composition spéciale connue dans le commerce sous le nom d'*Actna*. Cette matière, qui se laisse mouler sous pression, n'est pas cassante; elle est imperméable, résistante et durable.

M. Anderson a créé un matériel très répandu d'isolation des lignes aériennes de prise de courant, utilisant cette substance. Dans ses isolateurs pour fil de trolley le diélectrique est protégé extérieurement par un blindage métallique contre les coups et les intempéries.

Les appareils relativement bon marché sont constitués par une sorte de cloche en bronze, remplie de matière isolante dans laquelle est noyée une buselure taraudée, également en bronze (fig. 8). Dans cette dernière doit être vissé l'appendice fileté que l'oreille présente dans ce cas.

Les isolateurs de la *série West-End*, plus coûteux, sont plus recommandables en ce que le diélectrique n'y intervient pas dans la résistance mécanique. Les tensions sont supportées par des pièces métalliques. La cloche en bronze de l'isolateur présente une tubulure axiale élargie supérieurement en une cavité destinée à retenir la tête d'un boulon en bronze ou en fer engagé par le haut dans la tubulure (fig. 9). Une épaisse couche de matière isolante revêt le boulon sur le bout dénudé et fileté duquel se monte l'oreille pourvue alors d'un trou taraudé. Un chapeau à visser maintient le boulon dans son logement.



Si l'on remplace, en un point d'alimentation, le boulon isolé par un boulon sans garniture diélectrique, on relie métalliquement le fil de trolley à la carcasse de l'isolateur à laquelle l'on peut alors connecter le conducteur d'amenée du courant.



Fig. 8.

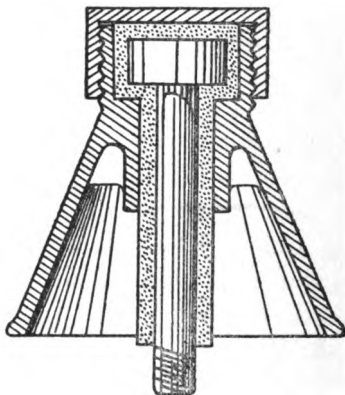


Fig. 9.

Quand la ligne aérienne est supportée par des poteaux à consoles, lesquelles sont ordinairement constituées par

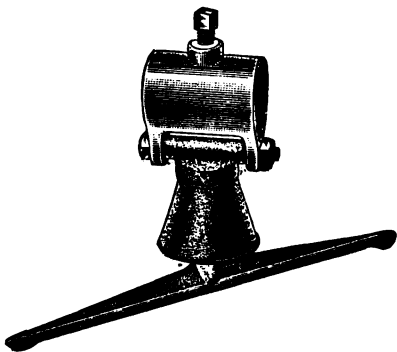


Fig. 10.

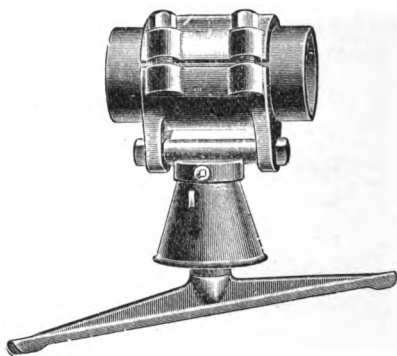


Fig. 11.

des assemblages de tuyaux en fer ou en acier, la cuirasse de l'isolateur est attachée par une articulation à un man-

chon en fer galvanisé glissé sur le bras horizontal de la console et pouvant être assujéti sur celui-ci à l'endroit convenable. Avec les poteaux en bois, on peut se dispenser d'isoler le manchon de la console : le manchon se réduit alors à une buselure maintenue en place par une vis de pression (fig. 10). Avec les poteaux métalliques, il est préférable d'utiliser un manchon en deux pièces serrées par des boulons latéraux sur le bras de la console, garni au préalable d'un revêtement isolant (fig. 11). On réalise ainsi le double isolement qui caractérise toute installation soignée.

Quelquefois on accroche l'isolateur à un bout de câble tendu parallèlement au dessous du bras horizontal de la console, entre deux cloches isolantes fixées à celui-ci. On emploie alors le même modèle d'isolateur que dans le cas où le fil de trolley est suspendu à des fils de support transversaux.



Fig. 12.

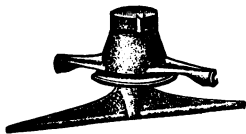


Fig. 13.

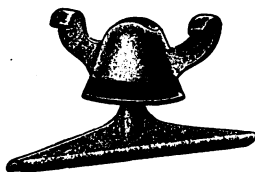


Fig. 14.

La cuirasse de ces isolateurs présente deux appendices latéraux venus de fonte et dans les extrémités recourbées desquelles passe le fil transversal contournant la cloche dans une rainure *ad hoc* (fig. 12 et 13). Les meilleurs modèles d'isolateurs de cette espèce sont ceux qui rapprochent autant que possible le fil transversal du fil de trolley. La fig. 14 représente un ancien modèle d'isolateur, défectueux sous ce rapport.

Dans les tunnels, sous les viaducs, dans les hangars et remises des voitures électriques, où le manque d'espace

en hauteur oblige à loger le fil de trolley près de la voûte ou de la charpente, l'on attache à celles-ci une sorte de chenal renversé en bois au fond duquel sont disposés les isolateurs, dont la partie supérieure, élargie et percée de deux trous, est assujettie par des boulons ou des tire-fonds (fig. 15 et 16). En retenant le trolley, lorsque celui-ci saute du fil aérien, le chenal préserve la construction et l'appareil de prise de courant contre les coups que pourrait occasionner le redressement de ce dernier. Pour conserver une certaine souplesse à la ligne, les isolateurs utilisés dans ces passages sont souvent supportés par des ressorts abrités dans des douilles protectrices.

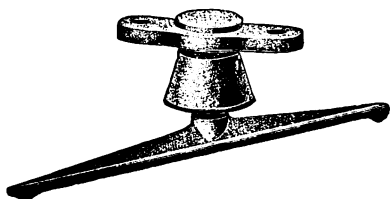


Fig 15.

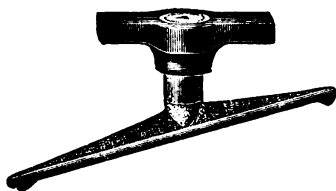


Fig. 16.

Les fils de support transversaux sont généralement des câbles à sept brins, en acier galvanisé, d'un diamètre total variant entre 6 et 8 mm. On emploie aussi des fils en bronze tenace. Les câbles sont plus maniables que les fils massifs. Comme il a été dit plus haut, les fils de support doivent être isolés des poteaux et des rosaces d'ancrage auxquels ils sont accrochés. A cet effet, on les termine par des isolateurs, dits *de tension*.

Il existe plusieurs modèles d'isolateurs de tension dont le diélectrique est l'aetna.

L'un d'eux consiste en un boulon à œillet, dont la tête conique, revêtue d'une coiffe isolante, est retenue dans le collier d'une sorte d'étrier : l'appareil est en fer galvanisé (fig. 17).

Dans l'isolateur *globe*, l'étrier et la tête, en forme de T, du boulon sont noyés dans une sphère dont la masse diélectrique les entoure et les sépare (fig. 18) : les pièces métalliques sont en bronze.

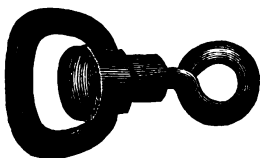


Fig. 17.

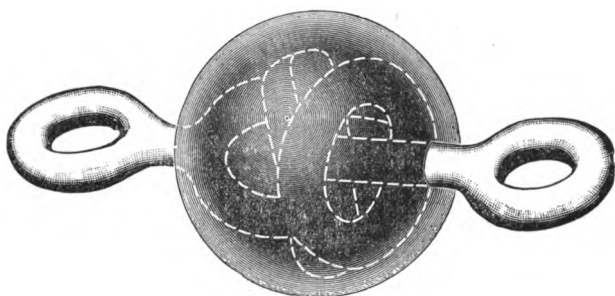


Fig. 18.

Quand on met en œuvre l'un des modèles d'isolateurs de tension précédents, on y attache le fil de support par l'intermédiaire d'un tendeur : deux tringles, filetées en sens inverses, engagées dans deux écrous solidaires en regard, font l'affaire (fig. 19). Les tendeurs servent, au moment de la pose, à donner au fil de support sa tension définitive et le serrage d'un des tendeurs, effectué en même temps que le desserrage de celui qui termine le fil de support à l'autre bout, permettant un certain déplacement du fil suivant son axe, donne le moyen d'amener l'isolateur du fil de trolley exactement dans la position convenable au dessus de la voie.

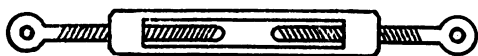


Fig. 19.

L'isolateur de tension *Brooklyn* constitue en même temps un tendeur : un gros boulon de bronze, recouvert d'une épaisse couche d'aetna, est emprisonné par la tête

dans une espèce de capsule de bronze en deux pièces rivées ensemble (fig. 20). La tête peut tourner librement dans son logement, une collerette métallique, appliquée extérieurement sur la matière isolante, empêchant que celle-ci s'éraïlle. Le boulon est creusé, suivant l'axe, d'un trou cylindrique taraudé dans lequel pénètre une vis d'une dizaine de centimètres de longueur.

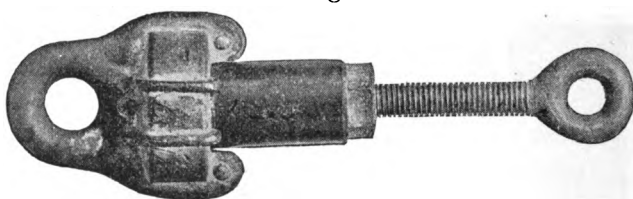


Fig. 20.

Comme les isolateurs pour fil de trolley de la série West-End, les isolateurs de tension sont combinés de telle sorte qu'en cas de destruction de la matière isolante les parties constitutives en métal ne puissent se séparer.

En ligne droite, les points de suspension du fil de trolley sont espacés de 35 à 45 mètres et le fil est tendu dans l'axe de la voie quand le service est fait par des voitures sans impériale.

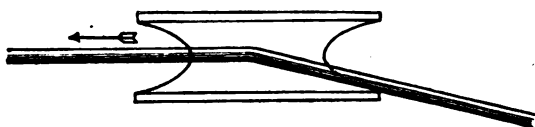


Fig. 21.

Dans les courbes, le fil de trolley suit les côtés d'un polygone dont les sommets constituent les points supportés. L'écartement de ceux-ci varie alors avec le rayon de la courbe : il est limité par la nécessité d'éviter le déraillement du trolley au passage dans les angles et dans les régions où le rejet latéral du fil aérien est le plus grand

Remarquons, en effet, que la base du mât de trolley, établie au milieu de la toiture du véhicule, se déplace dans la surface axiale définie par l'ensemble des droites qu'on peut mener, par chacun des points de l'axe curviligne de la voie ferrée, normalement aux plans d'assise correspondants des rails, et qu'en outre, la fourchette qui supporte l'axe de rotation du trolley est invariablement fixée au sommet du mât. Il en résulte qu'à mesure que le trolley s'approche d'un sommet du polygone, son

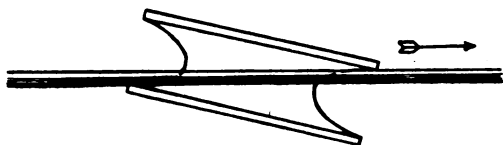


Fig. 22.

plan fait avec le fil aérien un angle croissant, sensiblement égal, au moment où la roulette atteint le sommet, à l'angle de déviation des côtés adjacents (fig. 21). De même, le trolley s'incline sur le fil quand celui-ci quitte la surface axiale définie plus haut et d'autant plus que le fil s'en éloigne davantage (fig. 22). Quand, dans l'un ou l'autre cas,

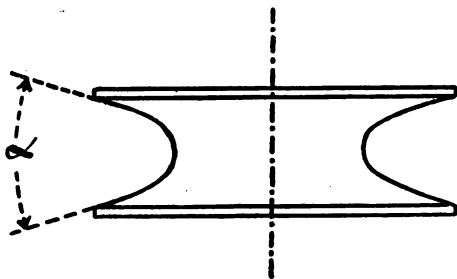


Fig. 23.

l'inclinaison dépasse la moitié de l'angle au centre  $\alpha$  (fig. 23) correspondant à l'ouverture de la gorge de la roulette, les bords de celle-ci montent sur le fil, et le trolley déraile.

En pratique, l'inclinaison doit rester inférieure à cette limite, et la distance maxima du fil de trolley à la surface axiale de la ligne ne peut guère dépasser 60 à 75 cm, même dans les courbes de grand rayon, avec les trolleys dont l'angle  $\alpha$  est voisin d'une quarantaine de degrés et les mâts d'une longueur de 3,65 mètres, inclinés de 50 à 60 degrés sur la verticale.

Dans le cas où les isolateurs soutenant le fil de trolley sont fixés à des potences, la pose en courbe ne présente rien de particulier : il suffit de rapprocher suffisamment les potences pour satisfaire à la condition précédente.

Si l'on emploie des fils de support transversaux, les isolateurs ordinaires accrochés à ceux-ci ne conviennent pas en courbe. Tirés latéralement par les côtés adjacents du polygone suivant lequel est tendu le fil de trolley et dont ils occupent les sommets, ces isolateurs tendraient

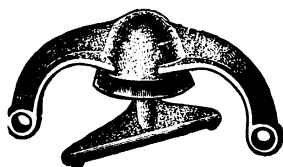


Fig. 24.



Fig. 25.

à se renverser et à glisser le long des fils de support. On utilise alors des isolateurs dont la cuirasse porte deux bras recourbés vers le bas et terminés en œilletons à hauteur de la rainure inférieure de l'oreille (fig. 24 et 25). Ils sont intercalés dans les fils de support attachés aux œilletons.



Fig. 26.

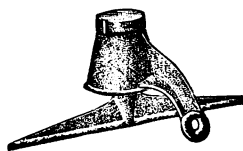


Fig. 27.

Souvent il est superflu d'assujettir les isolateurs des deux côtés et il suffit de les retenir du côté de la convexité de la courbe que décrit la voie. On fait usage d'isolateurs à un seul bras en ces endroits (fig. 26 et 27).

Dans plusieurs installations, le fil de trolley est soutenu par des oreilles fixées à des tringles recourbées et pour-

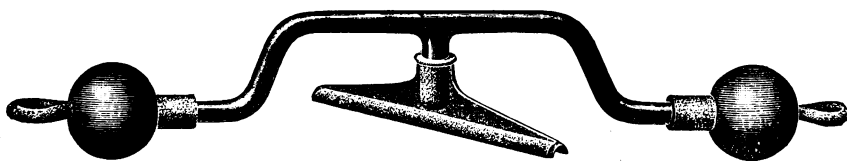


Fig. 28.

vues d'isolateurs globes, auxquels les fils de support sont attachés (fig. 28 et 29).



Fig. 29.

Les deux figures suivantes montrent, à titre d'exemples, la disposition générale des fils de support utilisée pour réduire le nombre des poteaux ou des ancrages d'attache dans le cas d'un tournant à angle droit : la fig. 30 se rapporte à une ligne à simple voie, la fig. 31 à une ligne à double voie.

De préférence, on fait converger les fils de support vers le point A (fig. 30) occupant l'un des sommets du triangle équilatéral A B C, dont les extrémités B et C de l'axe curviligne que suit le fil de trolley constituent les deux autres sommets. Quand le point A ne se prête pas à l'emplacement d'un poteau, le mieux est d'y attacher les fils de support à un anneau en fer relié lui-même par un câble à



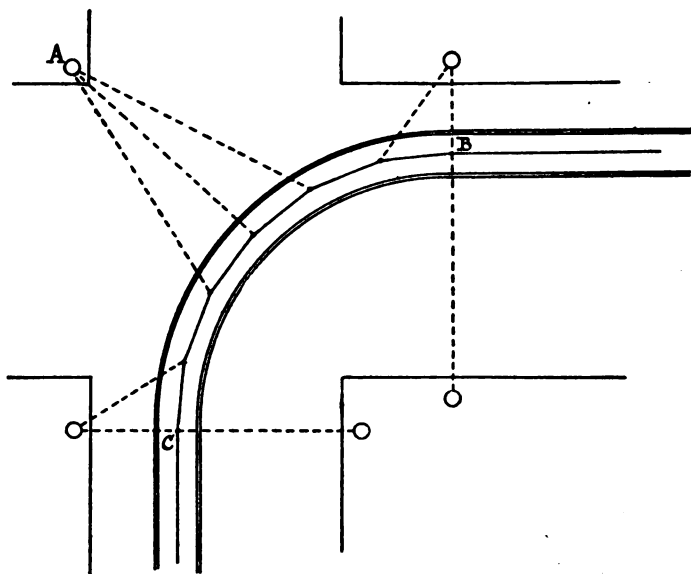


Fig. 30.

l'appui reporté plus loin sur la bissectrice de l'angle CAB (fig. 31), ou par deux câbles à deux points d'attache disposés de part et d'autre de cette bissectrice.

Les isolateurs de tension avec tendeurs, terminant les fils aux extrémités qui aboutissent aux poteaux ou aux rosaces d'ancrage, ne sont pas représentés dans les figures ; non plus dans la fig. 32 qui fait voir comment un câble tendu entre deux appuis situés du même côté de la voie, peut servir à retenir plusieurs isolateurs du fil de trolley, qui y sont rattachés par des bouts de fil de support.

A des intervalles de 1 500 mètres au plus en ligne droite et aux extrémités des courbes, on consolide la ligne aérienne à l'aide de quatre câbles tendus, en croix de Saint-André, entre quatre appuis, poteaux ou rosaces d'ancrage, voisins et retenant le fil de trolley en un point supporté (fig. 33). A cet effet, l'oreille utilisée en cet

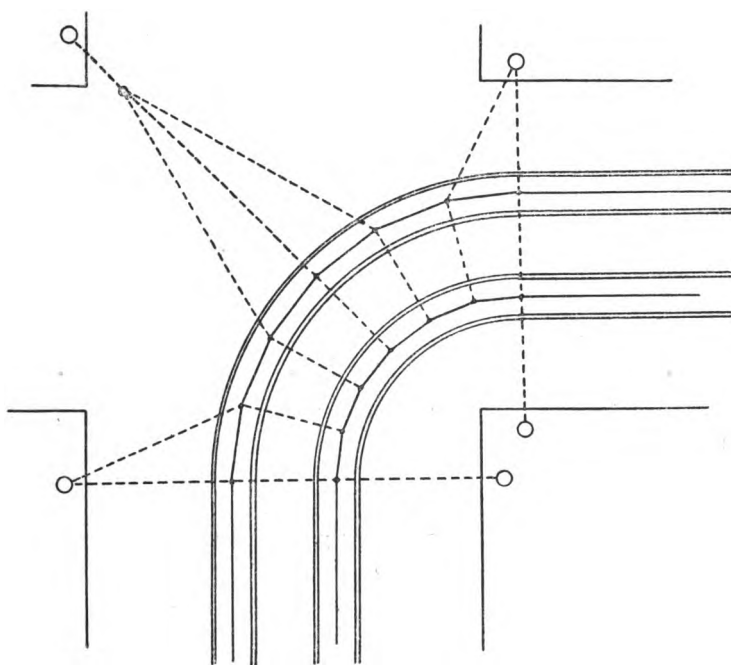


Fig. 31.

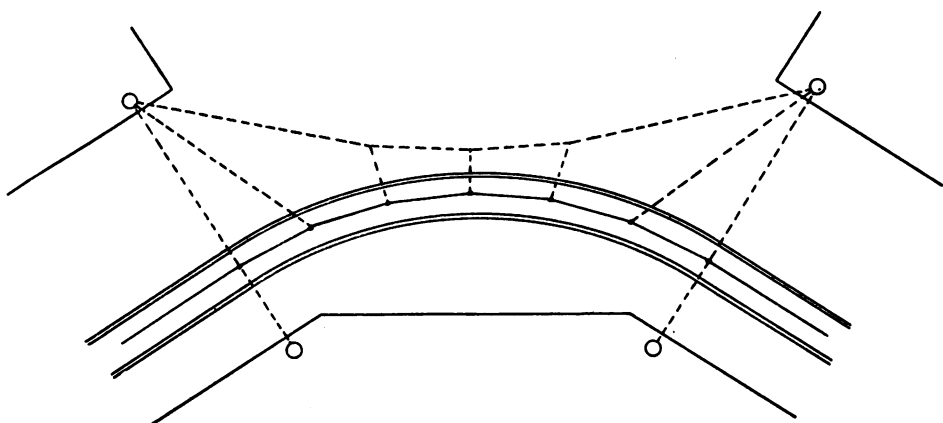


Fig. 32.

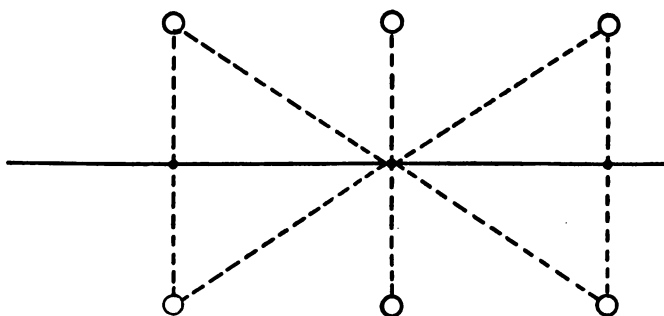


Fig. 33.

endroit présente deux œillets (fig. 34) auxquels sont attachés les câbles, identiques à ceux qui servent comme fils



Fig. 34.

de support transversaux. Outre l'isolateur de tension et le tendeur terminant chacun des câbles du côté de l'appui, on y insère un second isolateur de tension, ordinairement

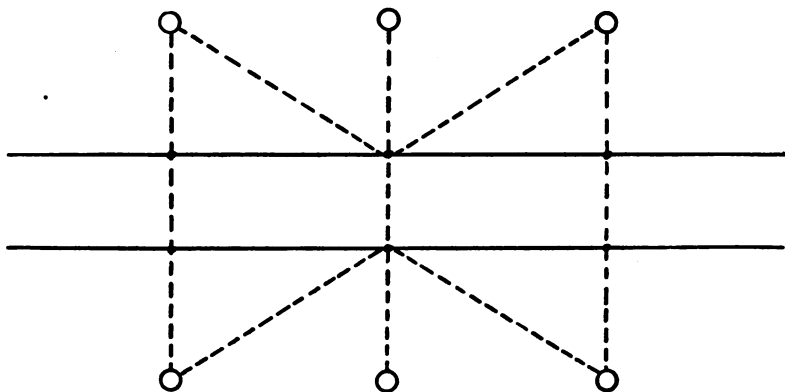


Fig. 35.

un isolateur globe, à une soixantaine de centimètres de l'oreille, pour assurer le double isolement du fil de trolley.

Dans le cas d'une ligne à double voie, les deux câbles prenant appui d'un même côté de celle-ci tirent sur le fil de trolley voisin de ce côté (fig. 35). Les deux isolateurs soutenant les oreilles maintenues par les câbles de consolidation, ne sont pas alors simplement accrochés à leur fil de support transversal commun : ce sont des isolateurs à double bras, du modèle utilisé en courbe, intercalés dans le fil de support.

Aux extrémités de la ligne, le fil de trolley est amarré à deux poteaux ou rosaces d'ancrage latéraux par le moyen de deux câbles identiques aux précédents, également munis, près des bouts divergents, d'un isolateur de tension et d'un tendeur (fig. 36). Un fort isolateur de tension du modèle de la fig. 17 est, en outre, interposé entre le fil de trolley et les câbles tendeurs.

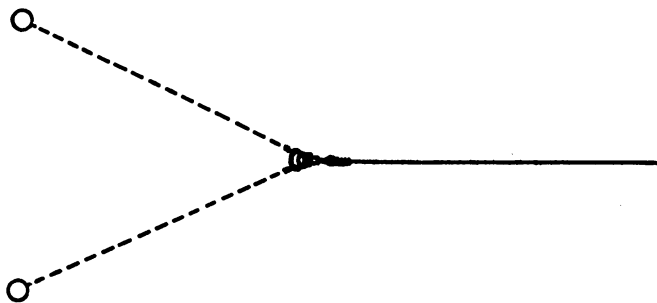


Fig. 36.

Au dessus d'une bifurcation de la voie ferrée, les trois bouts concourants du fil de trolley sont arrêtés à un appareil d'aiguillage destiné à guider le trolley au passage d'une section à la suivante. Il consiste en une plaque métallique présentant, en dessous, trois nervures sail-

lantes disposées en regard dans la direction des voies joignantes (fig. 37). Les extrémités du fil de trolley sont soudées à l'appareil ou simplement retenues par serrage dans le prolongement des arêtes des nervures. D'une nervure à l'autre, les bords du trolley roulent contre la

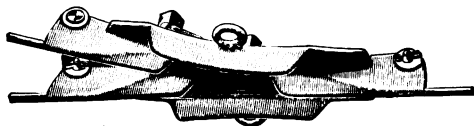


Fig. 37.

plaque ; comme la roulette n'atteint l'appareil d'aiguillage qu'alors que la voiture est déjà engagée sur la voie qu'elle va suivre, elle est naturellement détournée vers la nervure commençant la section correspondante du fil de trolley. L'appareil doit être posé au dessus du point de

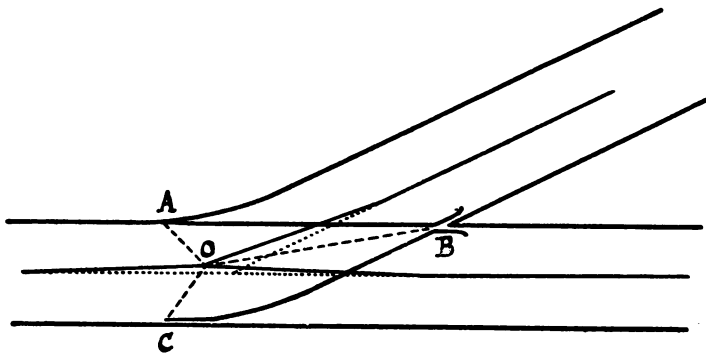


Fig. 38.

rencontre O des bissectrices des trois angles du triangle A B C formé par les rails (fig. 38). C'est là le secret de son bon fonctionnement : mal placé, il occasionne de fréquents déraillements du trolley.

On a recours à des appareils analogues en cas de trifur-

cation de la voie et de croisement de deux lignes. Un bouton saillant occupe le centre de l'appareil de croisement pour guider le trolley entre les nervures assez distantes (fig. 39).

D'une manière générale, en ce qui concerne tous les appareils intercalés dans le fil de trolley, tels que ceux dont il est question à présent, les modèles les plus recommandables sont ceux qui offrent au trolley une ligne de roulement horizontale dans le prolongement du fil.

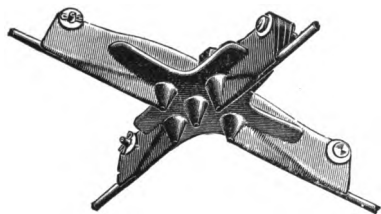


Fig. 39.



Fig. 40.

C'est encore au moyen de câbles, identiques aux fils de support transversaux, que les appareils d'aiguillage, pourvus d'œilletons d'attache, sont retenus aux poteaux ou rosaces d'ancrage latéraux. Ces câbles doivent aussi être munis d'un tendeur et terminés par deux isolateurs de tension. L'un de ceux-ci est souvent un isolateur globe à fourche accrochée par un boulon à l'œillet d'attache correspondant (fig. 40).

Ainsi qu'on l'a vu plus haut, lorsqu'on a recours à l'alimentation par feeders, le fil de trolley est sectionné en tronçons indépendants, afin d'éviter qu'un accident, survenu en un point de la ligne, entraîne l'arrêt complet du service. Des *isolateurs de section* séparent, dans ce but, les extrémités contiguës des tronçons consécutifs. Un modèle assez répandu de ces appareils comporte deux

pattes d'attache analogues aux oreilles, auxquelles sont soudés les bouts du fil de trolley et qui sont retenues à une partie médiane par des boulons isolants, du genre de ceux utilisés dans les isolateurs West-End (fig. 41). La partie médiane, ainsi isolée du circuit électrique, présente un double bras comme les isolateurs soutenant le fil de trolley dans les courbes et est suspendue aux appuis de la même manière que ceux-ci. D'un tronçon du fil de trolley au suivant, le trolley roule sous une latte de raccordement en bois. Pour éviter la détérioration de l'appareil par l'étincelle de rupture éclatant entre la roulette et l'extrémité du tronçon de fil aérien que celle-ci quitte, il y a lieu de recommander aux conducteurs des voitures d'interrompre le courant à l'aide du controller en passant sous les isolateurs de section et de franchir ces derniers par la vitesse acquise.



Fig. 41.

Ordinairement, on se ménage la possibilité de raccorder entr'eux les tronçons jointifs du fil de trolley, en reliant, par des conducteurs, les deux pattes d'attache de l'isolateur de section à un interrupteur normalement ouvert, abrité dans une boîte appendue à un poteau ou à un mur voisin. Si un accident, une perte à la terre par exemple, oblige à retirer momentanément un feeder du circuit, la fermeture des interrupteurs disposés aux extrémités de la section correspondante du fil de trolley permet de continuer le service sur cette section, en alimentant celle-ci par les feeders des sections adjacentes.

Les câbles de support et de consolidation de la ligne

aérienne sont retenus aux poteaux par le moyen de colliers serrés autour de ceux-ci à la hauteur voulue.

Quand les câbles sont accrochés aux maisons, les rosaces d'ancrage doivent être séparées des murs par des matelas amortisseurs, en caoutchouc par exemple, pour empêcher les trépidations de se transmettre aux bâtiments.

Pour relier le fil de trolley aux dynamos génératrices de la station centrale, on utilise des conducteurs recouverts d'une gaine isolante continue et tendus en l'air entre isolateurs ou bien logés sous terre comme dans les canalisations souterraines ordinaires.

La fig. 42 montre un modèle spécial d'isolateur pour ligne aérienne d'alimentation; le diélectrique est l'aetna et le conducteur est maintenu par un chapeau vissé dans une fourche que présente la cuirasse de l'appareil.



Fig. 42.

Rappelons que les câbles d'alimentation aboutissent le plus souvent au fil de trolley en des points supportés par l'intermédiaire d'oreilles spéciales, pourvues de buselures avec vis de serrage pour le raccordement (fig. 7) : ils traversent alors la voirie, jusqu'au fil de prise de courant, parallèlement aux fils de support transversaux auxquels ils sont accrochés de distance en distance. Quand les isolateurs soutenant le fil de trolley sont du type West-End, on peut effectuer le raccordement de la manière suivante, d'un aspect plus satisfaisant (fig. 43). Un isolateur à



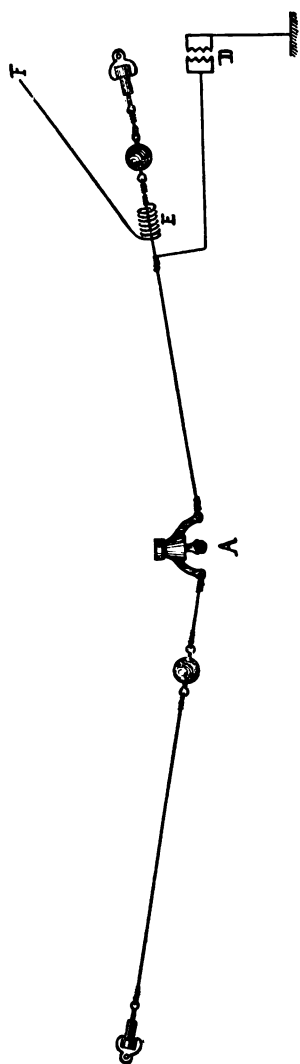


Fig. 43.

double bras A est disposé au point d'alimentation. Le boulon isolant y est remplacé par un boulon entièrement métallique après lequel est vissée une oreille du modèle courant. La carcasse de l'isolateur est ainsi introduite dans le circuit électrique. L'un des câbles d'attache de l'isolateur qui, en réalité, n'en est donc pas un, ne présente d'autre particularité qu'un isolateur de tension supplémentaire près du fil de trolley. Un fil de cuivre, de même nature que ce dernier, est attaché au second bras de l'isolateur, qu'il soutient d'autre part, tout en lui transmettant le courant électrique amené par le conducteur d'alimentation F. Celui-ci est raccordé à l'extrémité du fil de cuivre, qui est retenue au poteau ou à la rosace d'ancrage par l'intermédiaire d'un tendeur et de deux isolateurs de tension assurant le double isolement de la ligne en ce point.

Lorsque chaque tronçon du fil de trolley est alimenté par un feeder spécial, on munit chacun de ceux-ci d'un interrupteur et d'un coupe-circuit à l'usine centrale.

Quand un même feeder est connecté à plusieurs tronçons consécutifs du fil de trolley, et lorsque ces tronçons sont dérivés sur un conducteur auxiliaire

auquel aboutissent les feeders, on loge, dans des boîtes étanches disposées, le long de la ligne, contre les murs ou les poteaux, les clefs et les coupe-circuits fusibles

intercalés dans les conducteurs effectuant le raccordement au fil de trolley.

On abrite de même les parafoudres D (fig. 43), qu'il est prudent de dériver sur la ligne aérienne aux points d'alimentation, dans le but de provoquer l'écoulement dans le sol des décharges d'électricité atmosphérique frappant la ligne et d'éviter la propagation de celles-ci jusqu'à l'usine centrale. On augmente l'efficacité de ces appareils en intercalant, dans les conducteurs d'alimentation, des bobines à réaction peu résistantes E, qui peuvent être réalisées simplement par l'enroulement des conducteurs en forme de boudins de quelques spires. Les parafoudres Ajax sont fréquemment employés. La connexion avec la terre est effectuée par le moyen d'une bande métallique soudée à une plaque en cuivre enfouie de préférence dans l'eau d'un puits ou d'une rivière.

Passons, à présent, en revue, les diverses opérations que comporte la pose de la ligne aérienne de prise de courant. Pour fixer les idées, nous supposerons que les isolateurs utilisés pour supporter le fil de trolley sont du type West-End, qui est un des plus recommandables et des plus répandus.

Les poteaux sont, au préalable, amenés à pied d'œuvre et déposés, le long de la voie, à proximité de leurs emplacements respectifs. Une équipe de manœuvres creuse alors les fosses destinées à recevoir les poteaux et y dresse ceux-ci, munis, suivant le cas, de consoles ou de colliers pour l'attache des fils de support. La hauteur de l'emplacement des consoles et des colliers, ainsi que des rosaces d'ancrage aux murs, quand la ligne en comporte, doit être réglée de telle sorte que la distance au sol des points supportés du fil de trolley, généralement voisine de 5,70 mètres, soit aussi uniforme que possible.

Les poteaux sont quelquefois en bois, plus souvent en

fer ou en acier. Les poteaux métalliques les plus usités sont formés de tronçons tubulaires réunis par emboîtement. En vue d'un aspect satisfaisant, les joints sont cachés par des collerettes rapportées en fonte moulurée et un piédestal ornemental en même matière est disposé autour du pied. Ces poteaux offrent l'avantage d'être également résistants à la flexion suivant toutes les directions. Les poteaux en treillis, résultant de l'assemblage de fers profilés, sont souvent surmontés de pièces en bois, auxquelles sont attachées les consoles et les brides d'arrêt des fils de support. Dans ce cas, comme lorsque les poteaux sont entièrement en bois, on peut se dispenser de recourir aux dispositifs spéciaux, indiqués plus haut, pour isoler la ligne doublement par rapport à la terre.

Les poteaux ont ordinairement une longueur totale voisine de 9 mètres et sont enfoncés de près de 2 mètres dans le sol. On les établit sur des pierres plates disposées au fond des fosses, à moins que leurs extrémités inférieures soient pourvues de plaques d'assise destinées à élargir la base d'appui. On assujettit les poteaux en bois dans les fosses en tassant fortement de la pierraille tout autour. Le pied des poteaux métalliques est noyé dans un massif en béton de quelques dizaines de centimètres d'épaisseur.

Les poteaux auxquels seront accrochés des fils de support transversaux du fil de trolley doivent être plantés avec une inclinaison latérale telle, vers le dehors de la ligne, qu'ils se redressent verticalement sous la tension de ces fils. En ligne droite, on est ainsi amené à écarter le sommet de ces poteaux, suivant la nature du terrain, de 25 à 45 cm de la verticale avec les supports en bois, et de 15 à 25 cm avec les supports métalliques enfouis dans le béton. En courbe, il est nécessaire de pencher les poteaux davantage.

Là où la ligne aérienne doit prendre appui aux murs des maisons bordant la voie ferrée, l'équipe pose les rosaces d'ancrage. Les crochets auxquels aboutissent, dans ce cas, les fils de support de la ligne, sont souvent vissés dans des douilles en fonte libres de tourner autour de boulons verticaux retenus aux rosaces.

A mesure que le premier groupe d'ouvriers poursuit sa besogne, d'autres équipes procèdent à la pose des fils de support, quand la ligne en comporte, et du fil de trolley. On utilise, pour faciliter ce travail, des échafaudages roulants, surmontés de plateformes avec garde-corps, auxquelles des échelons latéraux donnent accès.

Pour tendre un fil de support transversal, après en avoir définitivement attaché une extrémité, on tire sur l'autre extrémité par le moyen d'une corde liée à un point fixe et passant sur une poulie accrochée à une sorte d'étau serré sur le fil. Deux hommes peuvent ainsi donner au fil une tension convenable. Tandis que l'effort qu'ils exercent maintient le fil tendu, on fixe le bout libre de ce dernier au tendeur qui a été préalablement attaché à la rosace d'ancrage ou au poteau correspondant par l'intermédiaire d'un isolateur de tension, s'il y a lieu. Si, quand les aides lâchent ensuite la corde, le fil se détend quelque peu, on réduit la flèche en agissant sur les tendeurs des extrémités.

Quand les fils de support transversaux sont établis, on y attache les carcasses des isolateurs destinés à soutenir le fil de trolley. Les appareils qui doivent simplement être accrochés aux fils, sont aisément mis en place à l'aide d'un outil spécial. Pour poser ceux qui doivent être intercalés dans les fils, on opère ainsi : après avoir coupé le fil de support à l'endroit requis, on fixe, aux œillets d'attache de l'isolateur, les extrémités jointives des deux tronçons, pendant que ceux-ci sont maintenus sous tension par le

moyen de deux poulies mouflées tirant sur des pinces serrées sur le fil près des bouts en regard (fig. 44). On détermine l'emplacement des isolateurs en s'aidant d'un fil à plomb ; les tendeurs, terminant les fils de support permettent d'ailleurs de corriger leur position dans une certaine mesure.

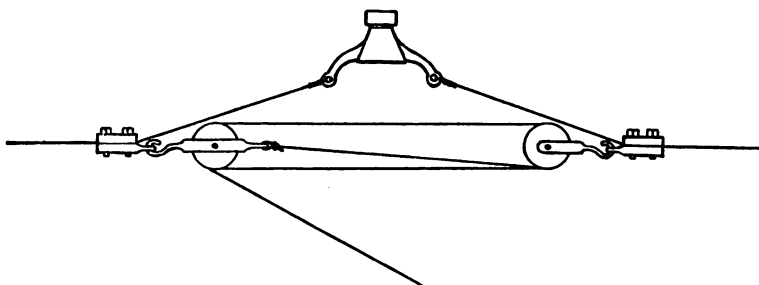


Fig. 44.

Le mode de fixation des carcasses des isolateurs aux consoles, décrit plus haut (fig. 10 et 11), permet aussi d'amener aisément ces appareils à l'emplacement requis, lorsque la ligne aérienne est portée par des potences.

Suit la pose du fil de trolley. Celui-ci, enroulé sur une bobine qu'un chariot transporte, est d'abord solidement amarré à l'un des bouts de la ligne, de la manière déjà indiquée (fig. 36). L'œillet d'attache qui le termine est formé en enroulant en spires serrées autour du fil l'extré-



Fig. 45.

mité repliée de celui-ci. Lorsqu'il est à craindre que la tension auquel le fil de trolley doit être soumis, provoque le déroulement des spires, on constitue l'œillet au moyen de deux plaques trouées, en bronze, serrées par des vis sur l'extrémité recourbée du fil (fig. 45).

On fait alors avancer le chariot qui porte la bobine et l'on suspend le fil de trolley, à mesure qu'il se déroule, aux fils de support transversaux ou aux consoles, par l'intermédiaire de crochets en fer en forme de S. Après avoir dévidé 250 à 300 mètres de fil, on enserrè celui-ci dans un étau du genre de ceux employés pour saisir les deux tronçons d'un fil de support, qu'on désire ramener l'un vers l'autre pour intercaler un isolateur entr'eux (fig. 44).

On amarre provisoirement cet étau, après avoir tendu à suffisance la longueur de fil suspendue dans les crochets. 4 à 5 hommes peuvent atteindre ce dernier résultat en tirant sur l'étau à l'aide d'une mouffle constituée par deux poulies pourvues chacune de deux roulettes à gorge.

Le fil de trolley est ensuite accroché et tendu sur une nouvelle longueur de 250 à 300 mètres, au bout de laquelle il est de nouveau ancré provisoirement. On procède de la sorte par longueurs successives jusqu'à ce que toute la bobine soit dévidée. L'extrémité terminale du fil est arrêtée au plus proche poteau, auquel on attache de même le bout commençant du fil d'une nouvelle bobine.

On établit également les quelques ancrages permanents que doit comporter la ligne et qui, on se le rappelle (fig. 33 et 35), sont effectués par des fils de support obliques maintenant le fil de trolley par l'intermédiaire d'oreilles spéciales à œillets (fig. 34). Ces oreilles sont soudées au fil de trolley de la manière ci-après indiquée. Le fil de trolley est aussi définitivement ancré à chaque bout des courbes. Dans celles-ci, on le suspend, pour le tendre, à des crochets attachés aux fils de support ou aux consoles de manière à ne pas pouvoir glisser.

En alignement droit, le fil de trolley est tendu suivant l'axe de la voie ferrée; en courbe, il est légèrement déplacé vers l'intérieur de celle-ci.

Quand la longueur totale du fil de trolley déroulée d'une bobine est en place, on soude, à l'endroit des isolateurs, les oreilles au préalable étamées. La soudure ne peut pas être faite à la lampe dont la flamme, trop chaude, recuirait le métal du fil et diminuerait sa tenacité. On emploie de lourds fers à souder, creusés d'une rainure pour mieux s'adapter au fil de trolley et qu'on a soin de ne pas chauffer plus fortement qu'il n'est nécessaire pour faire couler la soudure. On soustrait à la tension de la ligne, pendant l'opération de la soudure, la partie du fil de trolley en contact avec le fer chaud, en serrant le fil, de part et d'autre de l'emplacement de l'oreille, dans les pinces qui terminent les branches d'un cadre métallique rigide en forme de U.

Comme il serait très difficile de bien souder les oreilles sur le fil dans leur position normale, on les soude renversées sous le fil. Pour éviter de tordre et de déformer le fil de trolley, il convient d'y souder toutes les oreilles avant de relever celles-ci pour visser après elles les boulons isolants introduits dans les carcasses des isolateurs. C'est dans le même but que, lorsqu'il s'agit de remplacer l'oreille en un point d'une ligne existante, on ne soude la nouvelle oreille sous le fil qu'après avoir tordu localement celui-ci d'un angle de  $180^\circ$  autour de son axe. Quand on lâche le fil après la soudure, son élasticité redresse l'oreille.

On connecte entr'elles les extrémités jointives des longueurs de fil de trolley successives, en les soudant aux oreilles spéciales décrites précédemment (fig. 6). Une machine à tendre est utilisée pour donner, avant la soudure, la tension voulue aux deux bouts de fil de trolley aboutissant à l'oreille de raccordement. Elle se compose de deux paires de mâchoires qu'une vis, dont les moitiés sont filetées suivant des inclinaisons contraires, rapproche

entre deux guides, quand on la fait tourner par le moyen d'une manivelle (fig. 46).

Cette machine est encore employée pour maintenir le fil de trolley sous tension pendant qu'on y insère les isolateurs de section et les appareils d'aiguillage, et pour

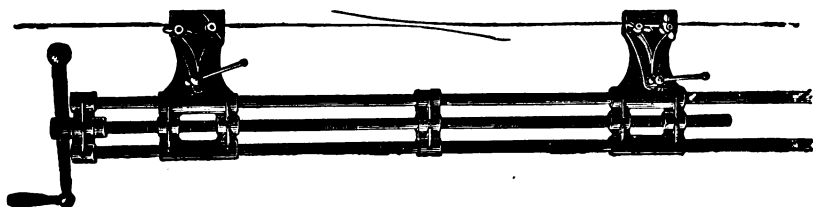


Fig. 46.

ramener l'un vers l'autre, afin d'en effectuer le raccordement, les bouts d'un tronçon de fil de trolley rompu accidentellement.

Les joints de cette espèce s'effectuent entre deux oreilles par l'intermédiaire de buselures métalliques de forme conique dans lesquelles les extrémités du fil de trolley sont retenues de manières diverses. Ainsi leur présence sur la ligne ne provoque pas de soubresauts sensibles du trolley qui les franchit.

La buselure de raccordement du joint *ohio*, d'un emploi très commode, comporte trois pièces (fig. 47) : deux tubes à visser sur une courte tige centrale sont passés sur les bouts de fil à relier ; aux extrémités filetées de ceux-ci sont alors adaptés de petits cylindres saillants retenus dans des cavités élargies qui terminent les canaux intérieurs des tubes.

Les administrations télégraphiques et téléphoniques exigent souvent que des fils de garde soient interposés entre leurs réseaux et la ligne aérienne de prise de courant, aux endroits où celle-ci passe sous les premiers : cette mesure est imposée en vue d'éviter l'introduction, dans les circuits télégraphiques et téléphoniques, d'une



tension dangereuse pour la conservation des appareils en cas de chute d'un conducteur de ligne de ces circuits sur le fil de trolley.

Les fils de garde sont tendus parallèlement au fil de trolley, à 45 ou 50 centimètres au dessus de celui-ci : on



Fig. 47.

en pose généralement deux, un de chaque côté du fil de trolley unique, ou bien un au dessus de chaque fil de trolley dans le cas d'une double ligne. Ils sont soutenus, comme le fil de trolley, par des isolateurs attachés à des fils de support transversaux retenus aux poteaux de la ligne par des brides ou aux murs par des rosaces d'ancrage spéciales. Les isolateurs sont des roulettes en porcelaine adaptées à des ferrures appropriées et dans la gorge desquelles le fil de garde est maintenu par des ligatures (fig. 48). Les fils de garde et leurs fils de support sont ordinairement en fer galvanisé.



Fig. 48.

La présence de fils de garde n'est pas de nature à améliorer l'aspect déjà tant sujet aux critiques des lignes aériennes de prise de courant. Le placement de ces fils entraîne une forte dépense ; en outre, si ceux-ci ne sont pas solides, ils sont sujets à casser sous le choc du conducteur télégraphique ou téléphonique qui tombe dessus, et alors le but poursuivi est manqué.

Les fils de garde sont avantageusement remplacés par des lattes semi-circulaires en bois, recouvrant la moitié supérieure du fil de trolley auquel elles sont fixées par des languettes métalliques.

L'apparence compliquée et disgracieuse, dans les courbes, d'une ligne aérienne à fils de support transversaux, résulte de la nécessité de tendre le fil de trolley suivant le contour d'un polygone comptant un nombre de côtés suffisant, si l'on veut éviter le déraillement du trolley au passage dans les angles et dans les régions du fil les plus écartés de l'axe de la ligne. En effet, nous avons reconnu plus haut que l'inclinaison du plan de la roulette sur la direction du fil de trolley ne peut pas dépasser une certaine limite.

Si, au lieu d'immobiliser la fourchette du trolley au sommet du mât de manière à maintenir le plan de la roulette dans la direction de ce dernier, ce qui est le cas dans le système de prise de courant examiné jusqu'à présent, on l'y disposait verticalement sur un pivot, de façon à lui permettre de tourner librement autour de son axe, la roulette pourrait rester en prise avec le fil de trolley, même si celui-ci s'écartait de l'axe de la ligne au point que la projection horizontale du mât fut inclinée d'un angle droit sur la direction du mouvement de la voiture. Il serait alors possible d'allonger les côtés du polygone que le fil de trolley décrit dans les courbes et, partant, de réduire le nombre des points à supporter. On pourrait, en outre, supprimer les fils de support transversaux dans bien des passages en attachant le fil de prise de courant à des potences de faible portée alignées sur le bord du trottoir, alors même que les voitures ne circulent pas tout près de celui-ci.

C'est là le principe de l'appareil de prise de courant préconisé par M. Dickinson. Les applications de ce système

sont encore rares. Lorsque les voitures automobiles sont pourvues d'impériales, M. Dickinson dispose le mât de

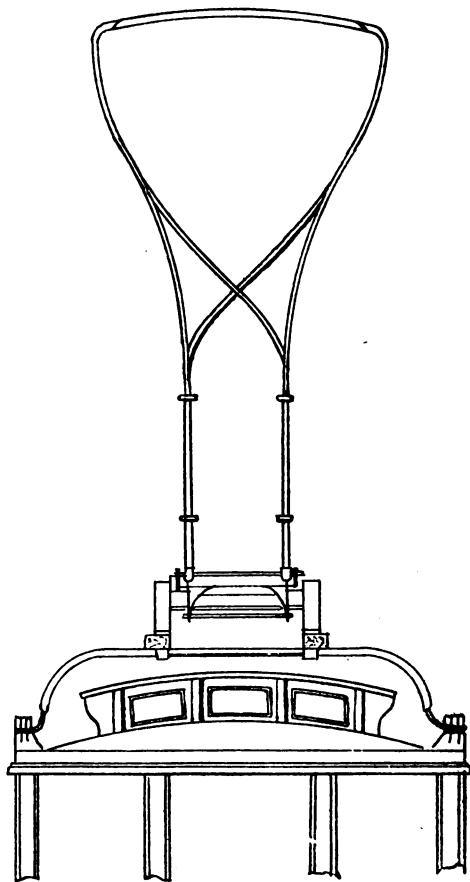


Fig. 49.

trolley au sommet d'un montant élevé, établi sur le bord latéral de la toiture, et rejette le fil de trolley sur le côté de la voie.

La firme Siemens et Halske a recours, dans ses instal-

lations, à un mode de prise de courant d'un tout autre genre, qui permet également de simplifier la pose de la ligne aérienne dans les courbes et de réaliser ainsi une économie sérieuse de matériel et de main-d'œuvre.

Une charpente métallique légère, articulée, à la base, autour d'un axe horizontal établi sur le toit de la voiture suivant une direction normale à celle du mouvement et sollicitée par des ressorts à se redresser verticalement, supporte une tringle courbe, sorte d'archet de 1,20 à 1,50 mètre de longueur, glissant transversalement sous le fil de trolley (fig. 49). Le dispositif assure un contact permanent avec ce dernier, même aux grandes vitesses qui occasionnent des soubresauts du trolley dans les courbes et au passage sous les isolateurs et les appareils d'aiguillage.

On reproche au contact glissant de l'archet, comparé au contact roulant du trolley, une usure plus considérable des parties frottantes. Il paraît toutefois qu'en choisissant pour l'archet un alliage tendre, on peut supprimer toute détérioration du fil de trolley: dans ces conditions, celui-ci se recouvre à la longue d'une couche d'alliage qui rend le contact électrique plus intime; l'archet seul s'use, mais il est aisé à remplacer. On diminue à la fois le bruit qu'occasionne le glissement de l'archet et l'usure de celui-ci, en entourant la tringle de prise de courant d'une doublure en aluminium creusée supérieurement de deux rainures remplies de graisse assurant une lubrification constante des points de contact. Pour éviter que le frottement s'effectue continûment au même point de l'archet, le fil de trolley est tendu légèrement en zigzag. (*Applaudissements.*)

**M. Mélotte**, *président*, réitère les remerciements de l'assemblée pour l'intéressant travail que M. De Bast lui a communiqué.

L'heure étant avancée, il propose de renvoyer à la Commission des Mémoires le travail de M. Henrard, inscrit à l'ordre du jour ; de la sorte, on ne retarderait pas la publication de cette note d'actualité. — Adopté.

**M. L'Hoest.** — La discussion du nouveau règlement sur l'emploi de l'Électricité dans les mines, figurant encore à notre ordre du jour, n'appelle plus de communications. Dans ces conditions, il me paraît qu'il ne reste plus qu'à conclure et je proposerai de charger M. Mélotte de nous présenter le texte des conclusions. — Adopté.

La séance est levée à midi et demie.

---

## MÉMOIRE



### **Installations hydrauliques et électriques de la Société Lyonnaise des Forces Motrices du Rhône.**

Les notes sur les courants polyphasés que nous avons communiquées à l'Association avec notre Vice-Président d'honneur, forment le résumé succinct de nos observations au cours d'un voyage d'enquête que nous avons effectué ensemble pour la Société Lyonnaise des Forces Motrices du Rhône.

Comme ces notes de voyage ont été la base essentielle des cahiers des charges définitifs rédigés pour la commande du matériel complet de cette Société, nous croyons intéressant pour nos collègues de leur donner quelques renseignements sur l'entreprise lyonnaise et de leur exposer dans leurs détails les conditions et garanties acceptées par les différents constructeurs pour leurs fournitures respectives.

#### ORIGINE DE L'ENTREPRISE.

Lyon, l'une des villes les plus industrielles de la France, est peut-être celle où l'électricité s'est le moins développée dans ses diverses applications. Cet état de chose devait amener un jour l'idée de doter cette grande cité d'installations perfectionnées permettant de vendre à bon marché l'énergie nécessaire à l'éclairage et à la force motrice.

L'idée de cette grande entreprise revient à Monsieur J. Raclet, administrateur délégué de la Société Lyonnaise.

La demande de concession rencontra, comme toujours, de nombreuses difficultés, et l'autorisation se fit attendre plusieurs années, toute idée nouvelle créant des jaloux et des intérêts prétendument lésés. Cependant, en 1892, la concession fut accordée par décret public et placée sous le contrôle de l'Etat. Ce décret stipule, entre autres conditions, que la distribution de force motrice à Lyon sera réalisée au moyen d'une chute d'eau artificielle obtenue par une dérivation éclusée du Rhône et que la puissance disponible sera transformée en énergie électrique.

#### CANAL DE DÉRIVATION.

La longueur du canal, en amont du barrage, est de 15 kilomètres environ, la partie en aval dépasse 3 kilomètres. Le premier de ces deux tronçons traverse un réservoir naturel qui servira d'accumulateur hydraulique.

La chute d'eau qui varie évidemment avec le débit du Rhône atteint son minimum en grandes eaux.

L'Etat, pour parer à cette diminution de la puissance disponible suivant l'allure du fleuve, a consenti à des prises d'eau variables.

Le volume d'eau, la chute et la puissance dont on dispose pour actionner les moteurs hydrauliques de l'Usine, sont les suivants :

|                                                                                                                                                            |                                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 1 <sup>o</sup> Pendant 343 jours par an et 19 heures par jour, la chute variera de 12 m à 11,40 m avec un débit uniforme de 100 mètres cubes à la seconde. | } Soit une puissance moyenne brute de 15 600 chevaux. |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|

Le réservoir naturel donnera annuellement pendant :

|                                                                                                            |                                                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| a) 253 jours et 9 heures par jour,                                                                         | } Soit un supplément de puissance brute de 10 032 chevaux. |
| b) 90 jours et 4 heures par jour, un supplément de 66 mètres cubes à la seconde avec une chute de 11,40 m. |                                                            |

2° Pendant les 22 jours restant de l'année et 24 heures par jour, la chute variera de 11 m à 10,10 m, et le débit sera uniformément de 150 mètres cubes à la seconde. } Soit une puissance moyenne brute de 21 100 chevaux.

Dès à présent, la Société des Forces Motrices du Rhône est autorisée à créer un second canal de 6 kilomètres dans le prolongement et en amont du premier, lui permettant de s'assurer un supplément de puissance de 10 000 chevaux.

Le canal a environ 60 m de largeur, 2,50 m de profondeur et 0,10 m de pente par kilomètre.

Le réglage de la prise d'eau est fait au moyen d'un ouvrage d'art, comportant un barrage muni de vannes calibrées.

Le canal, qui doit également servir à la navigation, est pourvu d'écluses doubles. Toutes les voies de communication qui existaient avant la construction du canal ont été remplacées par des ponts en fer.

L'usine est construite sur le barrage, qui mesure 130 m de longueur sur 12,50 m de largeur ; un déversoir permet au trop-plein du canal de se déverser dans le canal de fuite.

Nous avons donné tous ces détails pour bien montrer l'importance de l'entreprise ; nous allons maintenant dire quelques mots de la distribution électrique, et puis nous aborderons les conditions de fonctionnement et de garantie de chacune des parties de l'installation.

#### DISTRIBUTION ÉLECTRIQUE.

La Société Lyonnaise, se rapportant aux résultats de l'enquête, a adopté la distribution par courants triphasés. La distance du barrage au centre de la ville atteignant



près de 7 000 mètres, il a fallu recourir forcément à la haute tension. Pour la simplification du service, et par raison économique d'ailleurs, on n'a admis qu'une seule transformation par transformateurs fixes.

Le réglage sera, en conséquence, très simple, puisqu'il sera uniquement basé sur celui de la période à l'usine centrale. En résumé, le système de distribution comporte donc une usine centrale produisant le courant à haute tension et alimentant, par des feeders, les réseaux de distribution sur lesquels sont branchés les transformateurs fixes abaissant la tension à 112-115 volts sur les réseaux secondaires.

Nous allons maintenant aborder la question des canalisations, qui ont été de tout temps le point délicat des transports d'énergie par l'électricité.

#### CANALISATIONS.

Autant il est facile de juger des réseaux existants, distribuant l'énergie en des points bien déterminés, autant il est difficile de réaliser une canalisation prévoyant, sans connaissance aucune de la répartition de la demande, tous les cas qui peuvent se présenter dans l'avenir. Quoiqu'il soit toujours possible de faire relever la densité des éclairages au gaz pour les différents quartiers de la ville, ou bien la statistique des forces existantes, s'il s'agit de transport d'énergie pour la force motrice, encore ces renseignements ne donnent-ils qu'une idée très vague sur la façon dont se produira la demande. On est obligé d'une part de compter sur des industries nouvelles venant s'implanter là où la force motrice est vendue à bon marché, et d'autre part sur la tenacité, voire même l'entêtement de certains industriels à garder un matériel ancien, peu perfectionné ou peu économique, malgré tous les avantages qu'un procédé nouveau peut leur procurer.

D'ailleurs, s'il est commode de déterminer les réseaux d'un transport de force bien déterminé en tenant compte des lois d'économie, dans la majeure partie des cas de la pratique courante, il n'est pas possible de prendre ces lois en considération parce qu'on est limité par des conditions spéciales inhérentes à chaque cas particulier.

Les réseaux à déterminer doivent donc tenir compte d'un grand nombre de facteurs très problématiques et présenter par le fait une très grande élasticité.

Cette élasticité donnera dans la suite une répartition aisée du courant, malgré les erreurs inévitables dans les prévisions sur la répartition de la demande et permettra au système de distribution choisi de fonctionner avec toute la régularité désirable.

Les difficultés que nous venons de citer sont communes à tous les projets de distribution.

La détermination du système de distribution à adopter à Lyon et à Villeurbanne se compliquait d'une série d'autres facteurs dont le plus important était l'emploi d'un réseau unique de distribution permettant de desservir à la fois les appareils d'éclairage, de force motrice et de chauffage. Rien que cette condition obligeait à rejeter toute loi d'économie proprement dite pour ne rechercher qu'un mode de distribution capable de réaliser d'une façon absolument irréprochable les services si différents que nous venons d'énumérer.

On ne pouvait faire école et la *Société Lyonnaise des Forces Motrices du Rhône* avait le plus grand intérêt à profiter de ce qui se faisait ailleurs afin d'obtenir des résultats certains et non problématiques.

L'enquête que nous avons faite en Allemagne et en Suisse avec M. Eric Gerard eût à ce point de vue des résultats décisifs.

La tension de 5 500 volts et plus qui semblait rationnelle dans le cas de Lyon, où la longueur moyenne des feeders est considérable, et qui avait été prise comme base pour l'établissement des projets primitifs, fut abandonnée, et l'on dû reconnaître, d'après ce qui avait été réalisé ailleurs, qu'il serait imprudent de dépasser 3 500 volts.

Cette différence de tension, à perte de charge égale, augmentait évidemment dans une proportion considérable les sections premières, mais cependant, de l'avis de tous les constructeurs, l'emploi de cette différence de potentiel est économique, parcequ'elle allie d'une façon rationnelle la valeur du cuivre à celle de l'isolement. Enfin, un argument qui détermina notre décision fût la crainte manifestée par un constructeur (et ce n'était certes pas le moins important) de faire des câbles pour résister normalement à une différence de potentiel efficace de plus de 4 000 volts.

Cet industriel, dont les réseaux de ville ne sont plus à compter, tant en Europe qu'à l'étranger, nous déclara catégoriquement que, passé le voltage de 4 000 volts, il fallait abandonner les isolants à base de cellulose et prendre le caoutchouc ; or, les câbles caoutchoutés ne présentent pas des qualités de durée aussi grandes que les premiers et les garanties n'étaient guère aussi efficaces.

Toutes les considérations précédentes montrent comment nous avons été amenés, à Lyon, à adopter une tension qui ne dépassera jamais 3 500 volts à la station génératrice.

La condition d'élasticité a été résolue par l'adoption de pertes très faibles dans les réseaux de distribution à haute tension ; elle est, en général, inférieure à un demi pour cent.

La perte de charge dans les feeders ne sera jamais supérieure à 7 %. La régularité dans la tension a été obtenue par des conditions rigoureuses concernant les transformateurs et les moteurs.

Les câbles ont été commandés à la Société Berthoud, Borel de Cortaillo<sup>d</sup>. Voici d'ailleurs les conditions imposées et acceptées pour les canalisations de haute et basse tension.

*Description générale de la canalisation.* — Les communes de Lyon et Villeurbanne seront desservies électriquement au moyen de réseaux primaires triphasés. La différence de potentiel efficace entre deux conducteurs quelconques

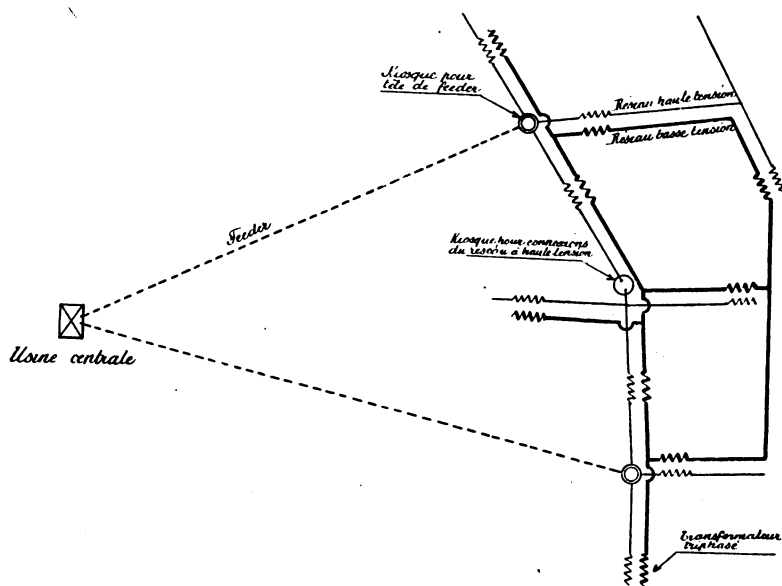


Fig. 1.

d'un même câble pourra atteindre 3 500 volts en marche normale. Chacun de ces réseaux partiels sera alimenté par un feeder spécial.

Tous les réseaux primaires seront établis de manière que, dans la suite, ils puissent être réunis pour n'en former qu'un seul.

La canalisation devra permettre de connecter ensemble les différents réseaux au moyen d'interrupteurs tripolaires placés dans des kiosques.

Ces réseaux alimenteront les transformateurs fixes qui doivent desservir par une transformation à 112-115 volts les canalisations secondaires.

Ces dernières seront toutes solidaires, de manière à rendre aussi uniforme que possible le voltage de tous les réseaux d'abonnés.

#### CABLES DE HAUTE TENSION.

A) *Spécification des câbles de haute tension.* — Ces câbles seront composés de trois conducteurs isolés et tordus ensemble sous forme d'hélice ; l'ensemble sera recouvert de deux gâines de plomb et de deux enveloppes de feuillard d'acier de 1 mm d'épaisseur chacune se superposant à recouvrement. Ces deux protecteurs seront séparés par une couche de chanvre ou de jute goudronné.

L'extérieur du câble sera également recouvert d'un guipage protecteur composé de bandes de toiles goudronnées se superposant comme le feuillard d'acier. L'isolant sera à base de cellulose ; l'emploi du caoutchouc est exclu.

Les câbles servant de feeders contiendront trois fils pilotes permettant de ramener le voltage du réseau primaire à la station centrale.

Les câbles servant de feeders se reconnaîtront des câbles de haute tension par des enroulements extérieurs de fil d'acier.

Les trois conducteurs composant un même câble se reconnaîtront comme suit :

L'un des conducteurs aura tous les brins en cuivre rouge ; un autre aura tous ses brins en cuivre rouge, moins un brin qui sera étamé ; le troisième aura deux brins étamés.

B) *Nature du cuivre.* — Le cuivre à employer pour la confection des câbles aura au moins 98 % de la conductibilité de l'étalon Mathiessen. Cependant, le fabricant pourra, pour éviter des erreurs de conductibilité, augmenter légèrement les sections de façon à maintenir exactes les résistances théoriques, déduites de la conductibilité de 98 %.

C) *Perturbations téléphoniques et télégraphiques.* — L'enroulement en hélice sera suffisamment serré de façon à éviter toutes les perturbations téléphoniques et télégraphiques par induction.

D) *Conditions de fonctionnement ; essai des câbles.* — Les câbles seront construits pour un fonctionnement normal à 3 500 volts efficaces.

L'essai à l'usine sera fait à 7 000 volts.

L'essai après la pose à 5 000 volts.

Ces essais à haute tension pourront durer 2 heures.

En fonctionnement régulier, le voltage pourra dépasser accidentellement de 50 % le voltage efficace normal sans que les garanties soient annulées.

Les essais à haute tension seront faits de conducteur à conducteur et de conducteur à l'enveloppe d'un même câble.

E) *Résistance à l'isolement.* — Le fabricant garantira une résistance à l'isolement kilométrique de 1 000 mégohms pour les câbles essayés à l'usine.

La garantie de résistance à l'isolement kilométrique pour les câbles mis en place, y compris tous accessoires, sera en moyenne d'au moins cent mégohms par kilomètre; seront refusés tous les tronçons dont la résistance à l'isolement n'atteindrait pas 50 mégohms par kilomètre.

F) *Capacité des câbles.* — Les capacités garanties et les capacités maxima kilométriques imposées sont consignées dans le tableau suivant :

| Section en mm <sup>2</sup><br>de<br>chaque conducteur | Capacité garantie<br>en microfarad<br>par kilomètre. | Capacité maxima<br>imposée en microfarad<br>par kilomètre. |
|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 5                                                     | 0,15                                                 | 0,15                                                       |
| 7,5                                                   | 0,16                                                 | 0,16                                                       |
| 10                                                    | 0,18                                                 | 0,18                                                       |
| 15                                                    | 0,20                                                 | 0,20                                                       |
| 20                                                    | 0,23                                                 | 0,23                                                       |
| 25                                                    | 0,25                                                 | 0,25                                                       |
| 50                                                    | 0,29                                                 | 0,30                                                       |
| 75                                                    | 0,33                                                 | 0,36                                                       |
| 100                                                   | 0,35                                                 | 0,40                                                       |
| 125                                                   | 0,37                                                 | 0,44                                                       |
| 150                                                   | 0,39                                                 | 0,48                                                       |
| 200                                                   | 0,41                                                 | 0,56                                                       |
| 225                                                   | 0,42                                                 | 0,57                                                       |
| 250                                                   | 0,43                                                 | 0,58                                                       |
| 275                                                   | 0,44                                                 | 0,59                                                       |
| 300                                                   | 0,45                                                 | 0,60                                                       |

G) *Densité du courant dans les câbles.* — La densité du courant dans les câbles d'une section inférieure à 100 mm<sup>2</sup> ne sera pas supérieure à 2 ampères par mm<sup>2</sup>; pour les câbles supérieurs à 100 mm<sup>2</sup>, la densité ne dépassera pas 1,5 ampères par mm<sup>2</sup>.

Nous donnons ici, aux  $\frac{2}{3}$  de grandeur, la coupe transversale d'un câble à 3 conducteurs de 300 mm<sup>2</sup>

construit pour fonctionner à 3 500 volts efficaces et résister à toutes les conditions que nous venons d'indiquer.

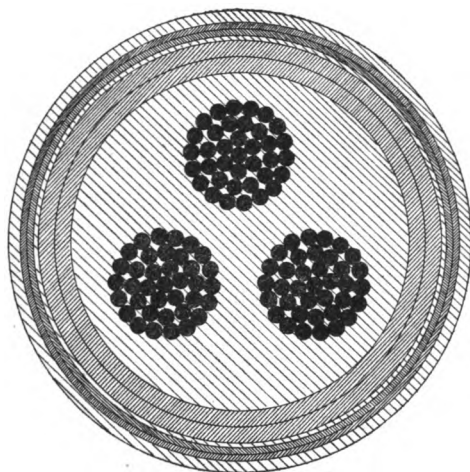


Fig. 2. — Câble à 3 conducteurs de 300 mm<sup>2</sup>.

Aucun constructeur ne possédait l'outillage suffisant pour les réaliser, l'adjudicataire a dû se pourvoir de tordeuses et de presses à plomb nouvelles.

#### CABLES DE BASSE TENSION.

Les câbles de basse tension répondent à toutes les données précédentes, sauf en ce qui concerne la tension qui est réduite à 115 volts efficaces. Les essais à l'isolement seront faits durant 2 heures à 500 volts pour les câbles essayés à l'usine et à 250 volts pour les câbles posés.

Les capacités garanties pour les câbles sont les suivantes :



| Section de chaque<br>conducteur. | Capacité par kilomètre<br>en microfarad. |
|----------------------------------|------------------------------------------|
| 5                                | 0,20                                     |
| 10                               | 0,24                                     |
| 15                               | 0,27                                     |
| 20                               | 0,30                                     |
| 25                               | 0,32                                     |
| 30                               | 0,35                                     |
| 40                               | 0,39                                     |
| 50                               | 0,43                                     |
| 60                               | 0,45                                     |
| 80                               | 0,51                                     |
| 100                              | 0,57                                     |
| 125                              | 0,63                                     |
| 150                              | 0,68                                     |
| 175                              | 0,73                                     |
| 200                              | 0,77                                     |
| 225                              | 0,83                                     |
| 250                              | 0,86                                     |
| 275                              | 0,90                                     |
| 300                              | 0,93                                     |
| 350                              | 0,97                                     |

*Durée de garantie des câbles.* — La durée de garantie est de 3 années comptées à partir de la mise en marche des réseaux; au bout de ce délai, les câbles doivent encore répondre comme qualités, isolement, etc., aux valeurs énumérées ci-dessus.

#### POSE DES CÂBLES.

La pose des câbles se fera suivant la méthode ordinaire pour les câbles armés.

Ils seront placés directement en tranchée entre deux couches de sable et protégés par une rangée de briques contre toute détérioration mécanique extérieure.

## KIOSQUES DE DISTRIBUTION.

Les kiosques, dont nous avons parlé dans la description générale de la canalisation, serviront à protéger les appareils destinés à connecter les feeders sur les réseaux de distribution à haute tension et à permettre la réunion ou le découplage de ces réseaux entre eux.

Ces kiosques, en tout semblables à ceux qui serviront d'abri aux transformateurs placés dans les rues, contiendront les sûretés et les interrupteurs tripolaires de couplage.

Ces abris ont été prévus pour remplacer avantageusement l'emploi de boîtes souterraines, d'un maniement toujours lent et difficile, et pour écarter dans la mesure du possible les dangers résultant d'une tension aussi élevée. Les interrupteurs seront à large rupture et manœuvrés par de longues tiges isolantes.

Nous abordons maintenant la question des transformateurs fixes, dont la commande a été passée à Messieurs Schneider et C<sup>ie</sup>, au Creuzot.

## TRANSFORMATEURS FIXES TRIPHASÉS.

Les transformateurs seront du type triphasé à trois colonnes conjuguées. Ils devront répondre aux conditions suivantes :

*Rapport de transformation.* — Lorsque la charge des réseaux correspondant à un même feeder sera nulle, la différence de potentiel efficace aux bornes du primaire du transformateur sera exactement de 3 000 volts ; à ce moment, la différence de potentiel efficace aux bornes du secondaire atteindra 111 volts. En conséquence, le coefficient de transformation sera 27.

*Essai à l'isolement.* — Les essais à l'isolement des transformateurs seront effectués par l'application d'une différence de potentiel de 7 000 volts efficaces. Ces essais à l'isolement seront effectués :

- 1° Entre les circuits électriques et les noyaux ;
- 2° Entre les noyaux et la terre.

De plus, la résistance à l'isolement d'un transformateur d'un type quelconque ne pourra jamais être inférieure à 50 mégohms.

*Échauffement des transformateurs.* — L'échauffement des transformateurs, après une marche continue de 12 heures dans les conditions de ventilation normale et à pleine charge sur résistances inductives ( $\cos \varphi = 0,72$ ), ne devra pas excéder de plus de 60° centigrades la température ambiante ; l'échauffement sera mesuré au thermomètre appliqué sur le transformateur.

*Rendement des transformateurs.* — Nous donnons ci-après les rendements garantis à pleine charge et à demi-charge pour des décalages correspondant à  $\cos \varphi = 1$  et  $\cos \varphi = 0,72$ .

| PUISSANCE<br>du<br>TRANSFORMATEUR. | RENDEMENTS INDUSTRIELS. |                        |                     |                        |
|------------------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------|------------------------|
|                                    | PLEINE CHARGE.          |                        | DEMI-CHARGE.        |                        |
|                                    |                         |                        |                     |                        |
|                                    | $\cos \varphi = 1.$     | $\cos \varphi = 0,72.$ | $\cos \varphi = 1.$ | $\cos \varphi = 0,72.$ |
| 2 000 watts.                       | 93 %                    | 92,5 %                 | 89 %                | 87 %                   |
| 5 000 »                            | 94                      | 93,5                   | 91                  | 89,5                   |
| 10 000 »                           | 95                      | 94,5                   | 93                  | 91,5                   |
| 15 000 »                           | 95,5                    | 95                     | 93                  | 91,5                   |
| 20 000 »                           | 95,5                    | 95                     | 93,5                | 92                     |
| 30 000 »                           | 96                      | 95                     | 93,5                | 92                     |
| 40 000 »                           | 96                      | 95,5                   | 94                  | 92,5                   |
| 50 000 »                           | 96                      | 95,5                   | 94                  | 92,5                   |
| 60 000 »                           | 96,5                    | 96                     | 94                  | 93,5                   |
| 75 000 »                           | 96,5                    | 96                     | 95                  | 94                     |
| 100 000 »                          | 96,5                    | 96                     | 95                  | 94                     |

*Chute de tension.* — Il est un point capital pour la régularité de la tension chez les particuliers, c'est d'obtenir des électriciens des transformateurs fixes dont la chute de tension soit aussi faible que possible pour qu'un accroissement brusque de la charge ne donne pas lieu à des variations trop fortes. Cette condition est bien plus importante encore quand les réseaux sont communs aux moteurs et aux lampes. On comprend donc que les transformateurs soient étudiés d'une façon toute spéciale. Nous entendons par chute de tension la variation de la différence de potentiel efficace aux bornes du secondaire quand on passe de charge nulle à pleine charge, la tension primaire étant invariable. Cette condition doit également être étudiée pour des appareils fonctionnant sur résistances inductives ou non.

Voici les garanties données par le constructeur :

| PUISSANCE<br>du<br>TRANSFORMATEUR. | CHUTE DE TENSION.  |                       |                    |                       |
|------------------------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|
|                                    | PLEINE CHARGE.     |                       | DEMI-CHARGE.       |                       |
|                                    | COS $\varphi$ = 1. |                       | COS $\varphi$ = 1. |                       |
|                                    | COS $\varphi$ = 1. | COS $\varphi$ = 0.72. | COS $\varphi$ = 1. | COS $\varphi$ = 0.72. |
| 2 000 watts.                       | 1 %                | 3,75 %                | 0,5 %              | 1,5 %                 |
| 50 000 »                           | 1 %                | 3,75 %                | 0,5 %              | 1,5 %                 |
| 100 000 »                          | 1 %                | 3,75 %                | 0,5 %              | 1,5 %                 |

Comme on le voit, ces valeurs sont fort faibles et donnent toutes garanties d'un fonctionnement régulier et stable.

*Consommation totale des transformateurs à vide.* — La consommation totale des transformateurs à vide intéresse bien plus les stations centrales marchant par l'intermédiaire de machines à vapeur que les installations à

moteurs hydrauliques. Cependant, quand le nombre des transformateurs devient considérable, ces consommations à vide peuvent entraîner à mettre en marche une ou plusieurs unités de l'usine et créer des frais d'exploitation plus ou moins importants. Nous donnons donc à titre de renseignement ces consommations totales à circuit ouvert pour les différents types de transformateurs.

| <b>Puissance du transformateur.</b> | <b>Consommation à vide.</b> |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| 2 000 watts.                        | 110 watts.                  |
| 5 000 »                             | 190 »                       |
| 10 000 »                            | 270 »                       |
| 15 000 »                            | 380 »                       |
| 20 000 »                            | 420 »                       |
| 30 000 »                            | 550 »                       |
| 40 000 »                            | 710 »                       |
| 50 000 »                            | 820 »                       |
| 60 000 »                            | 900 »                       |
| 75 000 »                            | 1 040 »                     |
| 200 000 »                           | 1 200 »                     |

Nous arrêtons ici la première partie de notre communication. Nous traiterons dans la seconde partie, les moteurs et appareils accessoires, et nous aborderons enfin tout ce qui concerne le matériel et le fonctionnement de l'usine génératrice de 20 000 chevaux.

## SÉANCE DU 12 JUILLET 1896.



*Présidence de M. Mélotte, président.*



### ASSEMBLÉE GÉNÉRALE DES MEMBRES EFFECTIFS



Le seul objet à l'ordre du jour est l'élection du président pour l'année sociale 1896-1897.

Prennent part au vote, soit directement soit par correspondance :

Messieurs Basquin, Bède, Biske, von Boschan, Bourquin, Chemin Palma, Colard, Couïard, Crombé, Cuccurullo, De Bast, Del Proposto, Deltenre, E. Demany, Derclaye, Dethioux, Dierman, Dubois, de Ercoreca, Francken, de Gnoinski, Grottendieck, d'Hoop, Kœnisberg, Lambert, C. Lechat, P. Lechat, L'Hoest, Libert, Manzi, Markovitch, Masson, Mélotte, Michaux, Nicodème, Nobili, Noé, Nowinski, Pedriali, Picard, Philippe, Piérard, Pœnaru, Polysu, Quinaux, Ransy, Robert, Roosen, Rousseau, de Ryckere, Sée, Semenza, Tasté, van Vloten, Verdeleanu, Wéry, Ver Eecke, du Welz, Winslow, Woyciechowski.

M. De Bast est élu président. (*Applaudissements.*)



## SÉANCE ORDINAIRE



Ont signé la liste de présence : MM. Choulguin, Crombé, De Bast, Deltenre, L'Hoest, Mathieu, Mélotte, Pio, Pirard, Robert, de Ryckere.

Le procès-verbal de la séance du 26 avril est approuvé.

Il est donné lecture de la lettre par laquelle Lord Kelvin, membre honoraire, remercie l'Association de l'adresse de félicitations et de souhaits qui lui a été remise par le président d'honneur, M. le sénateur Montefiore, dans la cérémonie de son jubilé professoral.

M. L'Hoest, au nom de **M. Piérard**, empêché d'assister à la séance, communique la note suivante, en réponse au mémoire de M. Cruciani : *A propos du retour du courant par les rails, dans les installations de traction électrique.*

### **Discussion de la note de M. Cruciani : A propos du retour du courant par les rails dans les installations de traction électrique.**

S'inspirant d'une idée récemment émise par M. Forbes, notre camarade Cruciani propose, dans le but d'éviter la détérioration rapide des conduites voisines des rails dans les tramways électriques à retour par les rails, de monter à l'usine centrale d'électricité des tramways une petite dynamo auxiliaire dont le pôle positif serait relié à la fois au pôle négatif des grandes dynamos et aux rails, tandis que sa borne négative se raccorderait à différents points convenablement choisis de la canalisation des rails, au moyen de câbles en cuivre nu, suspendus au moyen

d'agrafes isolantes au milieu de caniveaux en bois, autour desquels on coulerait de l'asphalte.

La sécurité obtenue de cette manière au point de vue de la conservation des canalisations voisines des voies me paraît douteuse. Le service des tramways est en effet toujours plus ou moins irrégulier. Pour des causes quelconques, comme embarras de voitures, obstacles imprévus surgissant devant eux, plusieurs véhicules devront, à certains moments, supprimer simultanément toute consommation de courant, tandis que la dynamo auxiliaire de l'usine fournira encore son voltage normal. Il en résulte que toute une partie de la canalisation des rails sera alternativement négative, puis positive par rapport au sol environnant, d'où résultera ce fait que les courants *vagabonds* seront tantôt dirigés dans un sens, tantôt dans l'autre, ce qui exagérera leur nocivité.

Le remède proposé me paraît dangereux de ce chef.

En somme, le but poursuivi par notre camarade est d'empêcher autant que possible le courant de rentrer à l'usine par les rails. L'idéal serait qu'il n'en rentrât pas du tout. On peut y arriver simplement et d'une manière

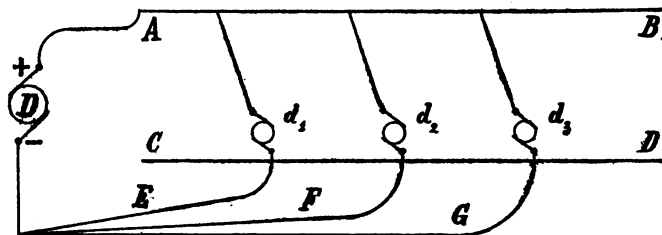


Fig. 1.

très sûre, en ne connectant pas les rails aux machines, supprimant la petite dynamo auxiliaire proposée, mais laissant les raccordements isolés allant en divers points



des rails et venant dès lors du pôle négatif des grandes dynamos.

Il suffira donc de faire produire en plus par celles-ci l'excédant de voltage nécessaire pour véhiculer le courant dans les câbles isolés.

L'installation est représentée dans la figure ci-contre, où A B est le fil de trolley ; D la ou les dynamos de l'usine ;  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$  les moteurs des voitures ; C D les rails, enfin E, F, G des conducteurs isolés de résistance approximativement égale.

En posant un nombre suffisant de raccordements isolés constituant les *seuls* chemins laissés pour le retour du courant, les files de rails formeraient une surface quasi-équipotentielle, ou du moins les chutes de voltage y seraient très réduites. L'inconvénient que l'on cherche à éliminer disparaîtrait ainsi en majeure partie.

L'efficacité du système représenté ci-dessus peut être aisément déterminée. En supposant trois voitures absorbant en moyenne vingt ampères, trois raccordements E, F et G respectivement connectés aux quart, milieu et trois quarts de la longueur de la ligne, la chute de voltage sera environ six fois moindre que ce qu'elle serait dans le cas de rails simplement connectés à la façon ordinaire aux négatifs des dynamos et plus de deux fois moindre que si les trois câbles E, F, G étaient intimement soudés sur toute leur longueur aux rails.

Les résultats obtenus seraient sans doute satisfaisants (à condition toutefois que l'isolation des câbles E, F, G se maintienne, ce qui n'est pas certain), mais le coût de cette canalisation supplémentaire ferait probablement reculer plus d'une compagnie de tramways.

Revenons au système proposé par M. Cruciani, que nous examinerons à ce dernier point de vue.

En admettant le réseau et les chiffres qu'il indique, l'ensemble, moteur et dynamo auxiliaire, demandera, d'après lui, 22 chevaux, et l'on peut estimer le coût du cheval-vapeur-an de 250 à 300 francs. Admettons la moyenne 275, les 22 chevaux coûteront annuellement 6 050 francs.

La canalisation absorbera, d'après notre camarade, 28 tonnes de cuivre. En comptant sur un prix de revient de 3 francs le kilogramme pour la canalisation *toute posée*, ce qui ne me paraît pas exagéré, il résultera de ce chef une dépense de 84 000 francs nécessitant par an, pour amortissement et intérêt, 10 %, soit 8 400 francs.

Enfin, le moteur, la dynamo auxiliaire, le tableau de distribution coûteront sans aucun doute au moins 4 000 francs d'achat et d'installation, d'où encore 400 francs de dépense par an.

Au total, une dépense annuelle de 14 850 francs. Cette somme me semble élevée, étant donné que, pour les raisons invoquées ci-dessus, l'efficacité absolue du système ne paraît pas certaine.

**M. Mélotte, président.** — M. Cruciani aura connaissance, par la voie du *Bulletin*, des objections présentées par M. Piérard. Je propose d'ajourner la suite de la discussion, afin que M. Cruciani puisse y participer. — Adopté.

**M. L'Hoest** communique ensuite le travail suivant :

#### **Notes sur les résistances partielles des rhéostats de démarrage des moteurs électriques à courant continu.**

Il est d'usage de diviser au jugé la résistance des rhéostats de démarrage sans se préoccuper des circonstances particulières de la mise en train des récepteurs.

Un type unique de rhéostat est fabriqué pour être joint à un ou plusieurs types de moteurs et, dans la majeure partie des cas, cette pratique ne présente aucun inconvénient. Cela est vrai, notamment, lorsque la période de démarrage est de si courte durée que le moteur résiste aisément aux courants excessifs auquel on le soumet pendant la mise en marche. Le nombre et la grandeur des résistances intermédiaires est alors assez indifférent.

La production de ces courants excessifs doit néanmoins être évitée, lorsque la source d'énergie est commune au moteur et à un éclairage peu important dont la régularité serait compromise par de brusques à-coup dans le régime de la distribution. Si la période de mise en marche est nécessairement lente, en raison des masses à mouvoir, si encore la source est constituée par une batterie d'accumulateurs dont le débit normal est voisin du débit maximum, il y a grand intérêt à calculer exactement les éléments du rhéostat pour sauvegarder les appareils tout en accélérant la mise en marche.

Proposons-nous, comme exemple, la détermination d'un rhéostat à appliquer à un moteur en dérivation, alimenté sous tension constante.

Pour l'une ou l'autre raison, le courant, pendant la période de mise en marche, ne pourra dépasser une valeur  $I$ .

L'intensité du champ étant constante, le couple moteur est sensiblement proportionnel à l'intensité du courant ;  $w_m = Ki$  et sa valeur maximum  $W_m = KI$ .

Si  $w_r$  est le couple résistant, qui généralement augmente avec la vitesse, le couple accélérateur sera

$$w_a = w_m - w_r.$$

C'est ce couple  $w_i$  qu'il importe de maintenir aussi grand que possible pour réduire le temps du démarrage. Sa plus grande valeur correspondra à

$$W_a = KI - w_r = K(I - i_r)$$

$i_r$  étant l'intensité qui donnerait l'égalité entre les deux couples  $w_n$  et  $w_r$ .

Or, cette valeur  $W_a$  ne peut se maintenir un seul instant, la force contr'électromotrice, qui croît avec la vitesse, ayant pour effet de réduire l'intensité. A un moment quelconque, on a donc :

$$w_a = K(i - i_r);$$

$i$  ne peut dépasser  $I$ ; il ne peut non plus descendre en dessous de  $i_r$ , qui correspond à l'état d'équilibre. C'est donc entre ces deux limites que le courant variable doit être maintenu par la soustraction successive des résistances insérées dans le circuit de l'induit.

Il est exceptionnel qu'on connaisse la loi de variation du couple résistant, ou autrement dit de  $i_r$ , aux différentes valeurs de la vitesse; sa valeur, à la vitesse de régime, par contre, est donnée puisqu'elle a dû servir au calcul du moteur. Comme elle est toujours supérieure aux valeurs correspondant aux vitesses moindres, on peut admettre l'intensité  $I_r$  du régime permanent comme limite inférieure du courant de démarrage.

Soit

$$\mu = \frac{I_r}{I}.$$

Au moment de la fermeture du circuit du moteur, le courant dans l'induit sera

$$I = \frac{E}{r_a + \rho_1} \quad (I)$$

$r_a$  étant la résistance de l'induit et  $\rho_1$  celle du rhéostat.

Dès que le moteur se sera mis en marche, la force contre-électromotrice  $e$  fera tomber l'intensité à

$$i = \frac{E - e}{r_a + \rho_1}.$$

Lorsque  $i$  sera descendu à  $I_r$ , il faudra soustraire une résistance qui ramènera  $i$  à la valeur  $I$

$$I = \frac{E - e_1}{r_a + \rho_2}$$

et ainsi de suite.

Nous aurons ainsi, dans la suite des manœuvres du rhéostat,

| Au début de chaque manœuvre : |                                    | A l'instant d'opérer la manœuvre suivante : |  |
|-------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------|--|
| 1 <sup>o</sup>                | $I = \frac{E}{r_a + \rho_1}$       | $I_r = \frac{E - e_1}{r_a + \rho_1}$        |  |
| 2 <sup>o</sup>                | $I = \frac{E - e_1}{r_a + \rho_2}$ | $I_r = \frac{E - e_2}{r_a + \rho_2}$        |  |
| 3 <sup>o</sup>                | $I = \frac{E - e_2}{r_a + \rho_3}$ | $I_r = \frac{E - e_3}{r_a + \rho_3}$        |  |
| . . . . .                     |                                    |                                             |  |
| n <sup>o</sup>                | $I = \frac{E - e}{r_a}$            | $I_r = \frac{E - e_n}{r_a}$                 |  |

D'où, à cause de  $\mu = \frac{I_r}{I}$

$$E - e_1 = \mu E$$

$$E - e_2 = \mu (E - e_1)$$

$$E - e_3 = \mu (E - e_2)$$

$$. . . . .$$

$$\frac{E - e_{n-1}}{E} = \mu (E - e_{n-2})$$

$$E - e_{n-1} = \mu^{n-1} E$$

$$\text{Or, } E - e_{n-1} = I r_a.$$

$$\text{Donc } \mu^{n-1} = \frac{I r_a}{E} \quad (2)$$

Ce qui permet de déterminer le nombre minimum des touches du rhéostat :

$$n = 1 + \frac{\log I r_a - \log E}{\log \mu} \quad (3)$$

La valeur des résistances fractionnées se calcule comme suit :

De

$$I = \frac{E}{r_a + \rho_1} \quad (1)$$

on tire

$$\rho_1 = \frac{E}{I} - r_a \quad (4)$$

résistance totale du rhéostat.

$$\begin{array}{l} \text{De } I_r = \frac{E - e_1}{r_a + \rho_1} \\ \text{et } I = \frac{E - e_1}{r_a + \rho_2} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} \rho_1 - \rho_2 = (\rho_1 + r_a)(1 - \mu). \end{array} \right.$$

De même,

$$\begin{aligned} \rho_2 - \rho_3 &= (\rho_2 + r_a)(1 - \mu). \\ \rho_{n-1} - \rho_{n-2} &= (\rho_{n-1} + r_a)(1 - \mu). \\ \rho_{n-1} &= r_a(1 - \mu). \end{aligned} \quad (5)$$

Or, on a

$$\rho_1 + r_a = \frac{\rho_2 + r_a}{\mu} = \frac{\rho_3 + r_a}{\mu^2} = \frac{\rho_{n-1} + r_a}{\mu^{n-2}} = \frac{r_a}{\mu^{n-2}}.$$

Remplaçant

$$\rho_1 + r_a \text{ par } \frac{r_a}{\mu^{n-1}}; \rho_2 - r_a \text{ par } \frac{r_n}{\mu^{n-2}} \text{ etc.};$$

dans les équations (5), on trouve finalement les valeurs des résistances partielles

$$\begin{aligned}\rho_1 - \rho_2 &= \frac{r_a (1 - \mu)}{\mu^{n-2}} \\ \rho_2 - \rho_3 &= \frac{r_a (1 - \mu)}{\mu^{n-3}} \\ \rho_{n-1} &= r_a (1 - \mu). \quad (6)\end{aligned}$$

Si l'on veut accélérer le démarrage, on prendra un nombre de touches supérieur à celui donné par la formule

$$\mu^{n-1} = \frac{I r_a}{E}. \quad (2)$$

Soit  $n'$  ce nouveau nombre. Le rapport  $\mu = \frac{I r}{I}$  deviendra  $\mu' = \frac{I' r}{I}$  et résultera de l'équation

$$\mu'^{n'-1} = \frac{I r_a}{E}. \quad (2')$$

$\mu'$  étant déterminé, il suffira de le substituer à  $\mu$  et  $n'$  à  $n$  dans les équations (6) pour avoir les nouvelles valeurs des résistances partielles.

La manœuvre judicieuse d'un tel rhéostat implique l'usage d'un ampère-mètre dans le circuit de l'induit, appareil qui indiquera le moment propice pour les commutations. Nous considérons cet appareil comme indispensable pour un moteur dont le démarrage exige quelques précautions. (*Applaudissements.*)

**M. Mélotte**, *président*, remercie M. L'Hoest de sa communication, et, abordant le dernier objet de l'ordre du jour, propose les conclusions suivantes de la discussion du nouveau règlement belge sur l'emploi de l'électricité dans les mines. (Voir *Bulletin*, 1895-1896, page 183 et suivantes.)

1<sup>o</sup> L'article 1 devrait être modifié comme suit :

« Les générateurs, récepteurs et transformateurs électriques seront installés dans des endroits secs et bien ventilés. *Il est recommandable d'isoler ces appareils, au point de vue électrique, des fondations sur lesquelles ils reposent.* »

2<sup>o</sup> L'article 2 devrait être supprimé.

3<sup>o</sup> L'article 5 devrait être modifié de la sorte :

« L'emploi de conducteurs nus est autorisé quand la différence de potentiel entre le conducteur d'aller et celui de retour ne dépasse pas 800 volts. . . »

4<sup>o</sup> De même l'article 19 :

« . . . Tous les interrupteurs ou commutateurs *du tableau de distribution* pour courants supérieurs à 10 ampères seront bipolaires. »

*Dispositions spéciales aux bâtiments abritant les puits de mines de la 3<sup>e</sup> catégorie et aux abords de ces puits.*

5<sup>o</sup> L'article 1 devrait être supprimé, tout au moins comme prescription absolue.

*Installations à l'intérieur des mines.*

6<sup>o</sup> L'article 4, commun aux mines de la 1<sup>re</sup> et de la 2<sup>e</sup> catégories, devrait être modifié comme suit :

« *Les collecteurs* des générateurs, récepteurs et transformateurs seront en outre complètement enfermés . . . »



Après discussion, l'Assemblée se rallie à ces conclusions, en ce qui concerne les propositions 1<sup>o</sup>, 2<sup>o</sup>, 4<sup>o</sup> et 6<sup>o</sup>.

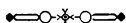
Elle constate que le texte de l'article 5 (3<sup>e</sup> proposition) est prohibitif des moteurs à 500 volts dont l'usage est cependant si répandu déjà dans l'industrie, car, à cette différence de potentiel à appliquer aux bornes des moteurs, il faut ajouter la perte de charge dans les lignes pour avoir la différence de potentiel aux conducteurs partant du tableau. C'est pourquoi elle estime que la tension maxima à imposer ne devrait pas être inférieure à 650 volts.

Elle pense aussi que le premier alinéa de l'article visé à la proposition 5 pourrait être maintenu, parce qu'il est recommandable à d'autres points de vue de séparer les générateurs d'électricité des autres installations de l'orifice des puits.

La séance est levée à midi et demi.

---

## CHRONIQUE.



**Manifestation en l'honneur de M. Eric Gerard, à l'occasion de sa nomination dans l'Ordre de Léopold.** — Voilà certes une distinction dont la nouvelle a été accueillie par d'unanimes applaudissements, soit qu'on l'ait considérée comme la juste récompense des services rendus au Pays par M. Eric Gerard, soit qu'on y ait trouvé en sus l'occasion de témoigner au professeur, la haute estime, la reconnaissance et l'affection qu'il a su conquérir parmi ses élèves et ses anciens élèves.

Aussi, dès l'instant que cette nouvelle fut connue, un Comité se constitua au sein de la jeunesse universitaire pour organiser une manifestation en l'honneur du nouveau chevalier. Sans se laisser déconcerter par l'approche des vacances, confiant d'ailleurs dans l'accueil que ce projet devait rencontrer, le Comité se mit à l'œuvre immédiatement et termina sa tâche dans le temps strictement exigé par les détails matériels.

C'est le 15 juin qu'eut lieu la fête.

M. Eric Gerard, ayant à ses côtés M<sup>me</sup> Eric Gerard et ses enfants, reçut les manifestants dans son habitation de la rue St-Gilles. M. Lepaige, recteur de l'Université, MM. les professeurs Dechamps, Goret, Krutwig et Hubert, M. Picard, directeur de Valentin-Coq, M. Jaspar, le constructeur bien connu, M. Huward, administrateur de la Société Dumont frères; M. Frenay, directeur de la Fabrique d'armes de guerre de Herstal, M. Dewandre, administrateur de la Société Electricité et Hydraulique, et d'autres chefs d'industrie avaient tenu à montrer, par

leur présence, qu'ils étaient heureux de s'associer à cette fête intime.

M. Duchesne, président du Comité organisateur, a pris le premier la parole en ces termes :

« MONSIEUR LE PROFESSEUR ET CHER MAÎTRE,

» Vos élèves, vos amis, ne pouvaient saisir une plus précieuse occasion de vous confirmer leurs sentiments d'inaltérable et respectueuse sympathie, que votre nomination dans l'Ordre de Léopold.

» Le nom de l'Institut Électrotechnique Montefiore que vous dirigez depuis sa création avec l'autorité que l'on sait, un dévouement qui jamais ne se ralentit, n'a pas attendu d'être porté bien au-delà de nos frontières, et le nombre des auditeurs étrangers qui viennent s'initier à votre enseignement ou y puiser le complément de connaissances déjà acquises, ne se compte plus.

» L'extension toujours croissante de l'électricité appliquée à l'industrie, a nécessité une étude et des recherches spéciales d'expérimentation, qui ne peuvent se poursuivre qu'en des laboratoires organisés à cette fin.

» Est-il besoin de le rappeler ? Celui que nous devons à la libéralité magnifique d'un Sénateur-Mécène, Camarade à la Société des Ingénieurs, défie la comparaison.

» M. Montefiore l'a doté d'installations modèles, somptueuses, qu'il se plaît, de large façon, à tenir au niveau de tous progrès, et qui témoignent d'une insigne compétence en la matière, comme d'une générosité s'accordant mal avec le calcul.

» L'Institut avait trouvé son Fondateur ; il lui fallait son Professeur, son Directeur.

» Il était clairement désigné.

» Nous formons des vœux qu'une pareille association soit longue encore à porter ses fruits.

» La vive sollicitude que vous prenez de vos élèves, Monsieur le professeur, et c'est un service inestimable que vous leur avez rendu, vous a fait réaliser le projet de la publication de votre Cours, œuvre magistrale, où les méthodes, vos vues personnelles, sont exposées avec une rigueur adéquate à l'importance de l'objet.

» Les *Leçons sur l'Électricité*, le *Traité des Mesures*, ont conquis d'emblée une place prépondérante, unique dans la littérature des sciences électrotechniques.

» Partout un éclatant succès répond hautement à leur valeur.

» L'honorable Président de l'Association des Ingénieurs Électriciens sortis de l'Institut Montefiore, M. Mélotte, nous en entretiendra particulièrement. Il nous retracera les origines de l'Institut et nous montrera les étapes par lesquelles vous l'avez amené au degré de perfectionnement que nous lui voyons. »

M. Mélotte, président de l'Association des Ingénieurs Électriciens sortis de l'Institut Montefiore, parlant ensuite au nom des anciens élèves de l'Institut, prononça le discours suivant :

« CHER MAÎTRE,

» La solennité qui réunit autour de vous vos élèves, anciens élèves et amis, leur fournit l'occasion de vous manifester leur sympathie et leur admiration.

» Je suis heureux que ma qualité de président de l'Association des Ingénieurs sortis de l'Institut Montefiore me permette aujourd'hui de parler au nom de vos anciens

élèves, pour vous féliciter de tout cœur de la distinction qui vous est accordée.

» C'est en cette même qualité, cher Maître, que me revient l'honneur de retracer à l'assemblée votre carrière déjà si féconde.

» MESSIEURS,

» J'espère que M. le professeur Eric Gerard m'excusera si, dans ce que je vais dire, il m'arrive de blesser sa modestie bien connue.

» Sorti brillamment de l'Ecole des mines en 1878, il entra à l'Administration des télégraphes, où le poussaient ses goûts pour l'électricité, une science qui venait de se révéler et dont il avait deviné l'avenir.

» Il fut envoyé à Paris par M. le ministre Saintelette, pour y suivre les cours de l'Ecole supérieure de télégraphie.

» Il y retourna en 1881 comme secrétaire de la section belge de l'Exposition et y remplit encore la même année et l'année suivante les fonctions de secrétaire du Congrès international des unités électriques. Les services qu'il y rendit lui valurent la croix de la Légion d'honneur.

» M. Eric Gerard se trouvait ainsi tout désigné pour reprendre la succession de M. Delarge, lorsque ce dernier renonça au cours de télégraphie et autres applications de l'électricité qu'il faisait à l'école des mines de Liège.

» Nul mieux que lui n'était capable de prendre la direction de l'Institut électro-technique que la munificence de M. le sénateur Montefiore avait permis de fonder à Liège en 1883.

» Mais la réalisation de l'idée généreuse de M. Montefiore était pleine de difficultés et la responsabilité que M. Gerard assumait était bien lourde.

» Il ne faut pas oublier que, à cette époque, la science de l'électro-technique venait à peine d'éclore.

» Depuis des siècles, on connaissait des phénomènes d'électricité statique, tels que l'attraction des corps légers par l'ambre, etc.

» Nos pères virent apparaître les premières piles, piles de Galvani, de Volta. On connut les différences entre l'électricité statique et l'électricité dynamique, mais les belles découvertes d'Oersted et d'Ampère furent longtemps considérées comme d'intérêt purement scientifique.

» Cependant, la science progressait et l'Exposition de 1878 fut une révélation. On y vit les lampes à arc alimentées par les machines Gramme, et les bougies Jabloschkoff alimentées par courants alternatifs.

» La télégraphie se développait rapidement et les échecs des premiers essais de télégraphie sous-marine attirèrent l'attention des savants sur les phénomènes de capacité : on commença à faire des mesures de précision et à étudier de très près tous les phénomènes se rapportant à la science électrique. On dut alors considérer l'électrotechnique non plus comme une branche accessoire de l'enseignement de la physique, mais bien comme une science nouvelle s'édifiant sur des bases de plus en plus solides. En même temps, le champ de ses applications allait en s'élargissant ; le téléphone venait émerveiller le monde, et déjà l'on parlait du transport électrique de la force.

» Cependant, la science électrique restait l'apanage de deux catégories de personnes : les praticiens qui, par leurs tâtonnements, étaient arrivés aux résultats que l'on admirait, et les savants de cabinet, qui s'étaient emparés de ces résultats et s'en étaient servis pour édifier des théories mathématiques. L'enseignement de l'électrotechnique n'existait pas, l'École supérieure de télégraphie de Paris faisait des cours de science pure.

» La situation était bien telle que l'a décrite M. Gerard dans la ! réface de ses *Leçons sur l'Électricité*, dont je vous demande la permission de citer quelques lignes :

« Lorsqu'en 1883 je reçus la mission d'initier aux progrès de la science électrique et de ses applications industrielles les ingénieurs, les officiers et les élèves qui étaient venus s'asseoir sur les bancs de l'Institut électrotechnique nouvellement fondé à l'Université de Liège, il n'existait aucun ouvrage didactique approprié à une telle classe d'auditeurs.

» Quelques traités parus à ce moment présentaient les principes de l'électricité sous des développements de calcul qui en rendaient l'étude très ardue pour les jeunes gens pourvus des connaissances mathématiques qui s'acquièrent dans nos Écoles spéciales.

» D'autres ouvrages, d'une portée moins élevée, ne donnaient qu'un répertoire descriptif des applications de la science électrique sans jeter des bases suffisantes pour permettre une étude approfondie de questions telles que la construction des dynamos. »

» M. Eric Gerard s'est vu obligé d'étudier pour ses élèves un enseignement nouveau, également éloigné des spéculations de la théorie pure et des développements descriptifs que comportent les ouvrages de vulgarisation.

» Cette tâche, M. Eric Gerard s'en est acquitté avec une science remarquable et un sentiment profond des nécessités de l'enseignement qu'il créait. Il avait publié, en 1886, le cours d'*Éléments d'électro-technique* qu'il faisait à l'École des mines depuis 1881. Les *Leçons sur l'Électricité*, parues en 1890, sont un ouvrage magistral et qui eut un succès sans précédents; l'auteur dut en publier coup sur coup de nouvelles éditions, qu'il était obligé de remanier et d'augmenter chaque fois pour rester au courant des progrès sans cesse croissants de la science.

» Mais M. Gerard avait compris que la leçon *ex cathedra* n'était pas suffisante pour préparer ses élèves à la vie industrielle. Il se rendit parfaitement compte de l'importance énorme de l'enseignement pratique. L'électro-technicien doit joindre à de solides connaissances théoriques une grande habileté manuelle d'expérimentateur. Dans le cours de ses recherches, il est journellement aux prises avec de petites difficultés d'exécution qu'il doit résoudre de lui-même, sans devoir s'adresser à des aides généralement trop incompetents pour lui être de grand secours. En un mot il doit savoir faire œuvre de ses dix doigts.

» Il doit, en outre, posséder une grande rectitude de jugement pour pouvoir apprécier sainement les résultats de ses expériences.

» C'est ce but que M. Gerard avait en vue et qu'il a atteint d'une façon remarquable dans l'organisation de l'atelier et des laboratoires de l'Institut Montefiore.

» Pendant les premiers mois de l'année, en même temps qu'ils reçoivent au cours les leçons de théorie pure qui forment la base de la science, les élèves s'occupent d'ouvrages manuels sous la surveillance d'un habile chef des travaux d'atelier.

» Ils commencent par forger et ajuster eux-mêmes les outils qui doivent leur servir plus tard : tourne-vis, burins, outils de tour, etc. ; après quoi ils entreprennent la construction d'un appareil de précision dont ils se serviront au cours de leurs expériences.

» Ils passent alors au laboratoire, où ils sont à même de commencer des mesures électriques de toute nature. Je dois insister sur la façon dont ces expériences sont conduites. Il existe des laboratoires où toutes les mesures à exécuter se réduisent à quelques lectures faites à des appareils montés d'avance par les garçons de laboratoire. A l'Institut, rien de semblable. Les expérimentateurs ont



à choisir et à préparer eux-mêmes leurs appareils et à régler tous les détails de leurs essais, monter les installations, etc.; et c'est ici que l'habileté manuelle qu'ils ont acquise à l'atelier leur vient en aide dans les mille petites difficultés qu'ils ont à vaincre. Ils croient parfois qu'ils ont perdu du temps lorsqu'ils ont fait fausse route ou subi un échec, mais, loin de là, ces petites contrariétés leur sont éminemment profitables en ce qu'elle développent en eux le sens du « débrouillez-vous », les habitue à ne compter que sur eux-mêmes et à analyser les causes de succès ou d'insuccès de leurs opérations.

» Ce n'est pas à dire cependant qu'on ne s'occupe pas d'eux; au contraire, leurs travaux sont très surveillés et l'on ne leur ménage pas les conseils.

» Lorsqu'après avoir terminé les mesures courantes, ils abordent les travaux plus spéciaux de recherches originales, le Professeur fait sentir sa direction d'une façon plus effacée, en apparence, mais non moins efficace en réalité. Il n'indique pas d'emblée la voie à suivre, mais suggère l'idée d'essayer telle ou telle méthode, et cela d'une façon si discrète que l'élève peut se figurer avoir trouvé seul la solution. Il prend ainsi confiance en lui-même, s'habitue à discuter le pour et le contre, et acquiert petit à petit le sens critique qui constitue une des plus grandes chances de succès dans toute recherche expérimentale.

» Mais la sollicitude de M. Gerard pour ses élèves ne s'arrête pas à leur sortie de l'Institut : elle les suit dans leur carrière, et, lorsque, au cours de leur vie pratique, ils ont besoin d'un conseil, ils trouvent toujours en leur ancien professeur un Mentor affable et bienveillant. Il s'est attaché à ce rôle et bien que plusieurs fois on lui ait offert, dans l'industrie, des positions tout-à-fait exceptionnelles,

toujours il les a déclinées, préférant consacrer sa science à ses élèves et à l'Institut Montefiore.

» Outre les *Eléments d'électro-technique* et les *Leçons sur l'Electricité*, M. Gerard a publié le *Cours de Mesures* qu'il fait à l'Institut et a collaboré activement à un grand nombre de revues scientifiques. C'est lui encore qui, lors des essais de téléphonie et de télégraphie simultanées, a donné l'idée de l'électro-aimant graduateur. Il a trouvé l'application aux électromètres des amortisseurs magnétiques.

» On lui doit une méthode téléphonique pour localiser les défauts dans les câbles et rechercher les câbles perdus, laquelle permet aussi d'établir une communication entre un navire ou un train en marche et un poste fixe.

» Il a apporté divers perfectionnements au galvanomètre d'Arsonval: la suspension à boudins et la bobine étroite, sans noyau, entre pièces polaires planes pour l'enregistrement des courants périodiques; ces perfectionnements l'ont amené à créer une méthode d'enregistrement à inscription simultanée du temps et du phénomène par une courbe pointillée.

» Indépendamment de la croix de la Légion d'honneur, M. Gerard est encore porteur de l'Ordre de la Couronne de Fer d'Autriche et il est officier de la Couronne d'Italie.

» CHER MAÎTRE,

» Je viens de retracer en grandes lignes l'œuvre que vous avez fondée et à laquelle vous vous êtes entièrement consacré. Laissez-moi vous dire maintenant les beaux fruits qu'elle a portés. L'Institut électrotechnique et son éminent directeur ont acquis une réputation universelle et

bien méritée. Il existe peu ou point d'établissements analogues dans le monde, et le meilleur critérium de la renommée qu'il a atteinte est le nombre sans cesse croissant d'élèves étrangers qui viennent s'asseoir sur ses bancs.

» Quant à nous, ingénieurs-électriciens, nous n'oublions pas que c'est en suivant vos savantes leçons que nous avons acquis les connaissances que nous mettons journellement à profit. » (*Applaudissements enthousiastes.*)

Les élèves et les anciens élèves de l'Institut avaient eu leurs interprètes dans MM Duchesne et Mélotte ; les amis de M. Gerard trouvèrent le leur dans M. Francken, qui dit :

« MON CHER GERARD,

» Si fier que j'en sois, je veux pour quelques instants oublier mon titre d'ancien élève de l'Institut pour me réclamer uniquement d'un autre, auquel je tiens par dessus tous : de celui d'ami de la toute première heure.

» Vos anciens camarades d'école à qui les circonstances de la vie n'ont pas permis de suivre vos leçons, ont à cœur de joindre leurs congratulations à tous ces témoignages de sympathie, de respect et de haute estime que vous venez de recevoir de vos élèves, de vos anciens élèves, du monde industriel et du monde savant.

» Après tant de glorieux hommages rendus à votre talent et à votre science, nos compliments paraîtront bien modestes, mais, j'en suis convaincu, ils ne vous seront pas les moins sensibles, cher ami, car ils sont dictés par la plus cordiale camaraderie et la plus affectueuse amitié, et nous savons tout le prix que vous attachez à ces sentiments et à ces liens. »

Les organisateurs de la manifestation ayant parlé, ce fut au tour de ceux qui s'associaient à la fête de féliciter M. Gerard.

C'est à ce titre que M L'Hoest prononça les paroles suivantes :

« CHER PROFESSEUR,

» Au moment de partir pour Glasgow, où vous savez qu'il est attendu aujourd'hui pour la célébration du jubilé de Lord Kelvin, M. Montefiore a appris que la manifestation organisée en votre honneur par vos élèves et vos amis, était fixée au même jour.

» Dans l'impossibilité matérielle où il se trouve d'assister à cette fête, il m'a chargé de vous exprimer les sincères regrets que cet empêchement lui cause et de vous assurer qu'il prend part de tout cœur à la manifestation bien méritée qui vous est faite.

» Il forme le vœu qu'un jour, dans une nouvelle cérémonie, votre jubilé professoral soit célébré comme celui du grand électricien anglais, que nous avons l'honneur de compter parmi les membres de notre Association.

» Je n'ai pas besoin de vous dire, cher maître, combien je suis en communion de pensée avec le fondateur de l'Institut, qui m'a fait l'honneur de me désigner, dans cette circonstance, comme son interprète auprès de vous.»

Au nom de l'Association des écoles spéciales, M. Louis Dubois, président de ce Cercle, parla en ces termes :

« MONSIEUR ET CHER PROFESSEUR,

» C'est avec joie que l'Association des Élèves des Écoles spéciales saisit aujourd'hui l'occasion qui lui est

offerte de vous exprimer ses sentiments de respectueuse sympathie et de reconnaissance.

» Je ne reviendrai pas sur les éminentes qualités qui justifient nos sentiments : d'autres les ont développées. Je dois cependant insister sur la constante bienveillance que vous témoignez à notre Cercle. Plus d'une fois, à l'occasion de certaines conférences, alors que notre local était insuffisant pour contenir vos auditeurs et que nous ne disposions pas des appareils nécessaires, vous y avez suppléé en nous ouvrant le grand auditoire de l'Institut Montefiore. Cette année encore, vous avez bien voulu nous donner dans toute son actualité une bien intéressante conférence sur les rayons X.

» Nous vous remercions vivement de ces marques d'intérêt, et c'est de tout cœur que nous nous associons à cette manifestation, pour vous féliciter de la distinction si honorifique que vous venez de recevoir. »

Les élèves étrangers, si nombreux à l'Institut, avaient tenu à faire entendre spécialement leur voix dans cette belle manifestation M Cabane, en leur nom, prononça ce discours :

« MONSIEUR ET CHER PROFESSEUR,

» Les élèves étrangers fréquentant en si grand nombre l'Institut Electro-technique Montefiore sont heureux de profiter de cette occasion pour vous manifester une fois de plus les sentiments de respect et de dévouement qui les animent.

» Si c'est un honneur pour vous d'avoir été si justement décoré, n'en est-ce pas un aussi pour nous qui travaillons sous votre direction ?

» Vous nous avez donné les principes de cette science que vous possédez à un si haut degré ; vous nous avez conduits dans les dédales de cette étude, étude aride, mais qui nous paraît simple lorsqu'elle est présentée par vous. Vous nous avez précédés et éclairés dans cette nouvelle route, et, grâce à vous, avons nous pu avancer sûrement.

» Vous nous avez chargés de science à un potentiel élevé, et nous voulons distribuer à notre tour cette énergie emmagasinée ; mais en renversant les lois du travail, c'est-à-dire que nous voulons nous efforcer de rendre une puissance utile, supérieure à celle que vous nous avez fournie.

» N'est-ce pas là, Cher Professeur, le meilleur moyen de prouver combien nous sommes fiers d'avoir été appelés à être vos disciples ?

» Vous nous avez prouvé une fois de plus que la science n'a pas de nation, nous vous disons, nous, la reconnaissance ne connaît pas de frontières. »

M. Schmidt fit encore, au nom de l'Association générale des Étudiants, l'allocution suivante :

**« MONSIEUR LE PROFESSEUR,**

» Au nom de l'Association Générale des Étudiants, permettez-moi de joindre aux témoignages d'affection et de reconnaissance de vos élèves, l'assurance de la sympathie et de l'admiration de la jeunesse universitaire tout entière. Tous les étudiants s'associent avec bonheur à la présente manifestation, parce qu'ils peuvent fêter en vous un de ceux qui, sans contredit, jettent le plus d'éclat sur notre chère Université liégeoise. De cet Institut électro-

technique, généreusement fondé par l'initiative privée, vous avez su faire, M. le Professeur, un établissement scientifique d'une réputation universelle. Si, de partout, accourent à Liège les jeunes gens désireux de s'initier à la science si troublante, si ardue des forces électriques, c'est à vos connaissances incalculables, à votre expérience incontestée, autant qu'à votre bienveillance, que l'Université le doit. Car vous avez la réputation méritée d'être le professeur d'accès facile, de ceux qui suivent l'élève avec intérêt, même après la fin de ses études, qui lui facilitent souvent l'entrée de la vie. Ces estimables qualités ne peuvent laisser l'étudiant insensible. Aussi ceux-là, particulièrement, que le hasard des études ou de la vocation n'ont pas dirigés vers vous, vous adressent leurs chaleureuses félicitations ; car il est d'heureuse tradition, à Liège, qu'étudiants et professeurs de toutes facultés entretiennent les uns avec les autres de cordiales et précieuses relations.

» Au nom de ceux-là, au nom de l'Association Générale des Étudiants, au nom de la jeunesse universitaire liégeoise, je salue en vous, M. le Professeur, une des gloires de notre Université. »

Au nom des ingénieurs des télégraphes, anciens élèves de M. Gerard, M. Lambert adressa enfin les félicitations que voici :

« MONSIEUR LE DIRECTEUR,

» Permettez-moi, au nom de mes camarades de l'Administration des Télégraphes, de vous exprimer les sentiments de cordialité qui sont au fond de notre cœur, et de vous dire la part que nous prenons à cette manifestation de sympathie en votre honneur.

» Notre petit pays, si industriel, ne peut méconnaître qu'il doit à l'Administration des Télégraphes et des Téléphones, appelée d'ailleurs à une grande extension, de voir augmenter considérablement sa puissance de production par l'accroissement de la rapidité des correspondances et la création de nouvelles relations.

» Et si nous pouvons, dans la faible mesure de nos moyens, concourir à son développement et à sa gloire, nous n'oublierons jamais, M. le Directeur, que c'est à vos excellentes leçons, à cet enseignement auquel vous vous êtes dévoué entièrement, que nous le devons.

» Je suis donc heureux d'être ici l'interprète de vos anciens élèves entrés à l'Administration des Télégraphes, pour vous exprimer ces sentiments de sincère gratitude. »

M. Duchesne, président du Comité organisateur, clôtura ces discours ; il reprit la parole pour la remise du portrait qu'il présenta en ces termes à M. Eric Gerard.

« CHER ET HONORÉ MAÎTRE,

» Nous avons eu la pensée de confier à un artiste dont le talent est universellement apprécié, le soin de consacrer, si j'ose dire, le caractère intime de cette fête.

» Puisse l'œuvre de M. Delpérée vous garder, en de lointaines années, le souvenir des cœurs sincères heureux de la belle occasion de vous l'offrir ».

Des salves d'applaudissements avaient marqué les traits saillants de chaque discours. Elles redoublèrent, lorsque M. Delpérée, faisant tomber le voile qui les cachait, découvrit les traits du héros de la fête.

Au nom du Comité organisateur, M. Fagard présenta à Madame Eric Gerard un superbe bouquet de fleurs.



M. Gerard, visiblement ému, répondant à tous, prononça le discours suivant :

« Je suis profondément touché de la belle manifestation que vous m'avez préparée, et je vous remercie du fond du cœur pour les sentiments de sympathie que vous m'avez exprimés.

» Le magnifique portrait que vous m'offrez sera pour les miens un souvenir précieux qui tiendra une place d'honneur à mon foyer. Je suis heureux que vous l'ayez confié à M. Delpérée, notre excellent peintre liégeois, dont le talent, d'une sobriété puissante, n'a plus besoin d'être loué.

» Dans ce jour, qui marque une date inoubliable dans ma carrière professorale, je me plais à adresser un souvenir reconnaissant à celui qui m'a ouvert cette carrière et à tous ceux qui m'y ont aidé.

» Ma gratitude va d'abord au fondateur de l'Institut électro-technique. M. Montefiore, dont le nom est devenu dans notre pays le synonyme de philanthrope, n'a pas seulement créé l'Institut. Il l'a soutenu de ses conseils, de ses subsides et de son influence. Il n'a eu de repos que lorsque les pouvoirs publics l'ont définitivement reconnu.

» La tâche qu'il me confia d'organiser l'enseignement de l'électricité était des plus belles ; cependant, il y avait peut-être quelque présomption pour moi à accepter de la commencer dans le délai de quelques mois qui m'était proposé. J'ai trouvé, heureusement, un préparateur dévoué dans la personne de M. May, qui continue à s'acquitter parfaitement de la mission difficile d'enseigner le travail manuel aux étudiants. Heureusement aussi, j'ai rencontré des élèves de choix, qui se sont associés à mes efforts, et parmi lesquels j'ai eu le plaisir de retrouver

plusieurs de mes camarades d'école, entr'autres mon ami Francken, que je remercie pour ses paroles cordiales, et dont, j'espère, l'Université utilisera un jour les connaissances.

» A mesure que les années passaient, les élèves sont venus de plus en plus nombreux, et il a fallu m'adjoindre un, puis deux assistants. M. Zunini, d'abord, qui m'a quitté pour aller enseigner l'électrotechnique à l'École de Milan. Puis successivement MM. De Becker, de Weydlich, De Bast, Brunhes, et enfin l'excellent officier-ingénieur Del Proposto. De tels collaborateurs m'ont facilité un enseignement qui était, au début, passablement pénible. Je dois un hommage tout spécial à M. De Bast, mon assistant depuis six ans, dans lequel j'ai trouvé réunies les qualités les plus solides du cœur et de l'intelligence, et dont le mérite n'est égalé que par la modestie. Aussi, ai-je été heureux d'avoir pu contribuer à le faire nommer répétiteur à l'Institut Montefiore et professeur à l'École industrielle.

» Les élèves de l'Institut et les anciens élèves constituent une grande famille restée unie, grâce à l'Association dont le succès est, en grande partie, dû à M. L'Hoest, un ingénieur d'élite, que ses fonctions très importantes aux chemins de fer de l'État n'ont pas empêché de subir d'une manière particulièrement distinguée l'examen d'ingénieur électricien et qui est en train d'organiser sur des bases solides l'emploi de l'électricité dans les chemins de fer Belges.

» Je remercie M. Mélotte, président de l'Association, pour les paroles trop flatteuses qu'il m'a adressées, et je suis heureux de rappeler la réputation hautement justifiée qu'il s'est acquise en calculant les premières grandes dynamos utilisées en Belgique, ainsi que les distributions

électriques de force motrice de plusieurs usines importantes.

» M. Mélotte a fait allusion aux occasions que j'ai eues de quitter l'enseignement pour l'industrie. Quelques brillantes que soient les offres qui m'ont été faites, je suis trop attaché à l'œuvre que j'ai vu naître pour avoir songé un seul instant à l'abandonner. J'aime ma profession et j'estime qu'il n'est pas de mission plus belle que d'enseigner à un auditoire composé d'ingénieurs, d'officiers et d'élèves mûris par de sérieuses études initiales. Je crois aussi que la meilleure manière pour moi de servir l'industrie électrique est de lui préparer de bons ingénieurs électriciens.

» Vous avez bien voulu rappeler que mes ouvrages ont eu quelque succès; je regrette toutefois que ces travaux m'aient amené à détourner une partie du temps que j'eusse voulu consacrer au laboratoire pour lequel j'ai plus d'inclination. J'ai fait ces publications en vue de faciliter leurs études à ceux de nos élèves étrangers qui prennent difficilement les notes du cours, et j'ai eu le plaisir de servir en même temps dans une mesure modeste à la diffusion des notions exactes sur la théorie de l'électricité et ses applications.

» Je remercie le Recteur de l'Université ainsi que mes collègues et amis qui ont honoré cette belle fête de leur présence, et j'adresse, en mon nom et au nom des miens, l'expression de ma plus vive reconnaissance à mes chers camarades et élèves qui l'ont préparée.

» Je bois le premier verre de vin de Champagne aux succès des élèves et anciens élèves de l'Institut Monflore. »

De longues acclamations ont accueilli ce discours.

L'assemblée, très nombreuse, s'est alors répandue dans

les jardins que la maison Jaspar avait brillamment éclairés par des lampes à arc artistement dissimulées dans le feuillage. C'est alors que successivement chacun voulut adresser ses félicitations personnelles à M. Gerard, tandis que, dans les groupes épars, s'échangeaient de cordiales poignées de mains entre les camarades heureux de se retrouver réunis dans cette fête de famille. L'entrain était encore à son comble que l'heure du départ était venue.

Au moment de se séparer de ses visiteurs, M. Gerard rappela qu'à pareille heure, on fêtait à Glasgow la plus grande illustration de la science électrique, le savant Lord Kelvin, auquel il proposa de porter un toast vivement applaudi par l'assistance.

Ainsi s'est terminée cette belle manifestation des sentiments de gratitude et d'attachement des élèves et anciens élèves de l'Institut pour leur professeur, manifestation qui n'attendait que l'occasion propice pour se produire.

\* \* \*

**Les fêtes du jubilé de Lord Kelvin** ont été célébrées à Glasgow avec la solennité extraordinaire que comportait la haute personnalité de l'illustre professeur de physique de l'Université de Glasgow.

Elles ont débuté dans la soirée du 15 juin par une réception, des nombreux savants et délégués venus de toutes parts pour donner à la manifestation le caractère grandiose qu'elle a revêtu.

C'est au cours de cette réception qu'un télégramme lancé de Londres à San-Francisco via Terre-Neuve, revint par la Floride et New-York en 8 1/2 minutes.

Le lendemain, la cérémonie principale eut lieu au Collège Gillmore Hill, à dix heures du matin, en présence

d'une brillante sociétés d'invités. Le Sénat de l'Université avait résolu de solenniser l'évènement en conférant au jubilaire et à quelques uns des savants présents le grade académique de *Doctor of Laws*. Les récipiendaires avaient pris place sur une estrade élevée auprès de la chaire présidentielle, tandis que les délégués des universités, des institutions et des sociétés scientifiques, ainsi que les invités, occupaient les sièges disposés dans la salle ; le restant du parterre était réservé aux étudiants et les galeries étaient ouvertes au public.

Pendant l'installation de tout ce monde, les orgues préludaient à la cérémonie.

A dix heures et demie, le Sénat de l'Université et Lord Kelvin entraient dans la salle, acclamés avec enthousiasme par l'assemblée.

M. le professeur Gairdner, le doyen du Sénat, après Lord Kelvin, prit place au fauteil présidentiel et le professeur Stewart, secrétaire du Sénat, après l'invocation d'usage, donna lecture de l'adresse suivante :

« CHER LORD KELVIN ,

» Le Prince de Galles me charge de vous offrir ses plus vives félicitations à l'occasion du cinquantenaire de votre professorat à l'Université de Glasgow.

» Son Altesse Royale s'unit de cœur aux éminents délégués des Universités et des corps savants du pays et de l'étranger , assemblés aujourd'hui en votre honneur dans cette Université de Glasgow, sur laquelle a rejailli le prestige des profondes recherches et des brillants travaux que vous y avez entrepris depuis un demi-siècle.

» Le Prince se rappelle avec beaucoup de satisfaction qu'il y a dix-sept ans il a eu l'occasion de vous remettre

la médaille instituée par la Société des Arts, en mémoire du Prince consort, pour honorer les hommes qui ont rendu d'éminents services aux Arts, à l'Industrie et aux Sciences. Ce que vous aviez fait jusque là, si grande qu'en fut la valeur, n'était cependant que le commencement des recherches inestimables auxquelles vous vous êtes voué d'une façon infatigable.

» Il espère que, longtemps encore, vous jouirez de la satisfaction de voir, aussi universellement appréciés, les services que vous rendez à la science et à l'humanité.

» Je reste,

» CHER LORD KELVIN,

» Sincèrement à vous,

» FRANCIS KNALLYS ».

» P.-S. — Son Altesse Royale désire que je vous répète ce qu'Elle a déjà fait connaître aux autorités de l'Université, combien Elle regrette que des engagements antérieurs la privent du plaisir d'assister à cette belle fête. »

Après la lecture de cette lettre, le professeur Story présenta les quatre-vingt-huit représentants d'Universités, Sociétés savantes, etc., qui s'avancèrent et présentèrent à Lord Kelvin des adresses de félicitations. C'étaient d'abord :

M. Froelich, de l'Académie des Sciences, Buda-Pesth.

M. le sénateur Montefiore-Levi, de Bruxelles.

M. le professeur Christiansen, de Copenhague.

M. le professeur Angelier, de Lille.

Etc., etc., etc.

Citons notamment, parmi les autres, M. Mascart, qui remit au jubilaire la médaille Arago.

La présentation des adresses dura environ une heure.

M. le sénateur Montefiore avait bien voulu se charger de présenter, au nom de notre Association, l'adresse suivante :

« Milord ,

« L'Association des Ingénieurs-Électriciens sortis de l'Institut Montefiore voit avec bonheur le monde des savants célébrer d'une manière solennelle le jubilé d'un de ses plus grands maîtres, de celui dont l'extraordinaire activité et le génie profond se sont exercés dans tant de champs divers du domaine des sciences.

» Aux adresses qui, de toutes les contrées, vous arriveront si nombreuses, permettez-nous, Milord, de joindre nos vives et respectueuses félicitations. Accueillez-les à la fois comme un témoignage de notre admiration pour vos grands travaux et comme un hommage de notre reconnaissance pour les encouragements que vous avez donnés à notre Société naissante.

» Désireux de vous les rendre le plus agréables, nous n'avons pu mieux faire que d'en confier la remise à notre président d'honneur, Monsieur le sénateur Montefiore.

» Nous avons l'honneur, Milord, de vous présenter l'expression de nos sentiments de haute considération.

» *Au nom du Comité :*

» LE SECRÉTAIRE-GÉNÉRAL.

LE PRÉSIDENT.

G. L'HOEST.

F. MÉLOTTE.

» Liège, le 10 juin 1896.

» *A Lord Kelvin of Largs ,*

» *Professeur à l'Université, Glasgow. »*

Cette partie de la cérémonie terminée, le professeur Moody Stuart, au milieu des applaudissements, propose Lord Kelvin pour le titre de *Doctor of Laws*. « En mémoire », dit-il, « de ce jour, l'Université désire lui conférer le plus haut grade honorifique qu'elle puisse donner en plaçant son nom illustre au registre des Doctors of Laws ».

Lord Kelvin, ayant été investi de sa nouvelle dignité, prit alors la présidence comme plus ancien professeur de l'Université et donna la parole à M. Stuart :

« L'Université de Glasgow, dit ce professeur, désire commémorer ce jour en conférant le titre de *Doctor of Laws* à quelques-uns des savants distingués du continent, de l'Amérique ou des colonies, qui nous ont aujourd'hui honorés de leur présence. »

D'unanimes acclamations accueillirent la proclamation que M. Stuart fit, au nom de la Faculté de droit, des quinze assistants auxquels elle conférait le doctorat.

Lord Kelvin adressa ses premiers remerciements, tant en son nom qu'en celui de ses collègues nouveaux, pour le titre honorifique qu'ils venaient de recevoir. Il remercia ensuite ses confrères et les délégués des corps savants qui lui avaient remis des adresses de félicitations si nombreuses et si sympathiques.

A 6 1/2 heures, un banquet de 700 couverts offert au jubilaire et présidé par Lord Provost de Glasgow, réunissait à St-Andrew's Hall la pléiade des personnages et des savants qui avaient assisté à l'imposante cérémonie du matin.

Nous n'entreprendrons pas de rapporter les nombreux toasts et les discours qui furent prononcés à la suite de la lecture du Message de la Reine, dont voici la teneur :

« La Reine me charge d'exprimer à Lord Kelvin ses



félicitations à l'occasion de son jubilé professoral à l'Université de Glasgow.

» Elle espère que lui et Lady Kelvin jouiront encore de nombreuses années de prospérité.

» La Reine est heureuse de la présence de tant de personnes éminentes, venues de toutes les parties du monde pour donner une solennité exceptionnelle à cette belle fête. »

---

## SÉANCE DU 25 OCTOBRE 1896.



*Présidence de M. Mélotte, président.*



### ASSEMBLÉE DES MEMBRES EFFECTIFS.



Le seul article à l'ordre du jour est l'élection de quatre Vice-Présidents et de six Commissaires pour l'année sociale novembre 1896 à octobre 1897 inclus

Prennent part au vote : MM. Bailly, Basquin, Bede, Briffaux, Calmeau, Choulguin, Coops-Busgers, Dawson, De Bast, Derclaye, Everarts, Ferrand, Fontaine, de Gnoïnsky, Henrion, d'Hoop, Julius, Kœnigsberg, L'Hoest, Libert, Manzi, Markovitch, S., Massange, Mavroïdis, Mélotte, Noïrfalise, Pescetto, Picard, Pierard, Pio, Poenaru, Quinaux, Ransy, See, Semenza, Somach, Turchi, van Vloten, Wéry, Winslow, Woyciechowski. (Un bulletin, parvenu sous enveloppe, datée de Bruxelles-Midi, non signée extérieurement, a été annulé.) (\*)

Sont élus :

*Vice-Présidents* : MM. Del Proposto, Henrard, Pierard et Mélotte.

*Commissaires* : MM. Bayet, Briffaux, Cruciani, Franken, Grottendieck et Julius

---

(\*) N'ont pu être présentés : un premier bulletin parvenu de France, sans signature ni indication de nom de l'envoyeur, sous une enveloppe ordinaire, sans suscription, et un second bulletin parvenu de Liège trois jours après la séance.

## ASSEMBLÉE ORDINAIRE

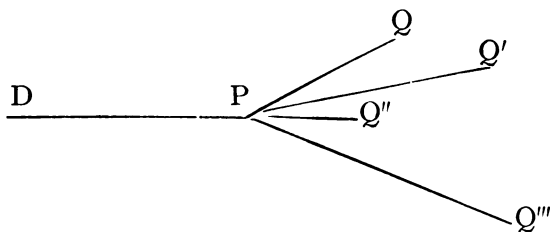


Ont signé la liste de présence : MM. Bailly, Choulguin, De Bast, Fontaine, H., Henrion, L'Hoest, Massange, Mavroidis, Mélotte, Noirfalise, Pierard, Pio, Somach, Turchi.

**M. Mélotte**, *président*, communique à l'assemblée la note suivante :

Dans l'élaboration d'un projet de distribution d'électricité, on peut être amené à rechercher les conditions de dépense minimum de cuivre dans des conditions déterminées, par exemple dans le cas d'un feeder alimentant un groupe de circuits dérivés, lorsqu'on s'impose la perte de tension entre l'origine et l'extrémité des dérivations.

Soit par exemple, un feeder DP alimentant les circuits PQ, PQ', PQ'', etc., etc.



Soit  $V$  la perte en volts uniforme admise depuis la source D jusqu'aux points d'utilisation Q, Q', etc.

Appelons  $M$ ,  $S$ , les longueur et section du feeder DP,  $A$  l'intensité du courant qui le traverse,  $m$   $s$   $a$ ,  $m'$   $s'$   $a'$  les mêmes quantités relatives aux dérivations PQ, PQ', etc.

La perte en volts de D en P est exprimée par  $\frac{M A}{C S}$ ,  
C étant le coefficient de conductibilité du métal.

Dans l'une quelconque des dérivations, la perte est  $\frac{m a}{c s}$ .  
de sorte que la perte totale est

$$V = \frac{M A}{C S} + \frac{m a}{c s} \quad (1)$$

D'autre part, les pertes dans les dérivations sont les mêmes et l'on a

$$\frac{m a}{c s} = \frac{m' a'}{c s'} = \frac{m'' a''}{c s''} = \text{etc...} \quad (2)$$

Le prix du cuivre de l'ensemble sera évidemment

$$M S + m s + m' s' + m'' s'' + \dots = K P. \quad (3)$$

En combinant les équations (1) (2) (3), on peut éliminer toutes les variables autres que  $s$  :

de (1) on tire 
$$S = \frac{M A s}{V c s - m a}$$

de (2) on tire  $s' = \frac{m' a'}{m a} s, \quad s'' = \frac{m'' a''}{m a} s, \text{ etc.}$

En remplaçant dans (3), il vient

$$\frac{M^2 A s}{V c s - m a} + m s + m' \frac{m' a'}{m a} s + m'' \frac{m'' a''}{m a} s + \dots = K P$$

ou

$$\frac{M^2 A s}{V c s - m a} + \frac{\Sigma m^2 a}{m a} s = K P, \quad (4)$$

expression dont il faut chercher le minimum, qui nous est donné par la condition  $\frac{d K P}{d s} = 0$ .

En dérivant (4) par rapport à  $s$ , et en égalant le résultat à 0, nous avons

$$\frac{(Vcs - ma) M^2 A - M^2 A s Vc}{(Vcs - ma)^2} + \frac{\Sigma m^2 a}{ma} = 0$$

ou

$$\frac{\Sigma m^2 a}{ma} (Vcs - ma)^2 - M^2 m A a = 0$$

$$(\Sigma m^2 a) (Vcs - ma)^2 = M^2 m^2 a^2 A$$

$$Vcs - ma = \pm Mma \sqrt{\frac{A}{\Sigma m^2 a}}$$

$$s = \frac{ma \left( 1 \pm M \sqrt{\frac{A}{\Sigma m^2 a}} \right)}{Vc}$$

La présence du signe  $\pm$  semble indiquer deux solutions, mais on doit adopter celle qui correspond au signe  $+$ .

En effet, des deux termes de la racine

$$s = \frac{ma}{Vc} \quad \text{et} \quad \frac{ma M \sqrt{\frac{A}{\Sigma m^2 a}}}{Vc}$$

le premier donne la section que le conducteur D P aurait s'il était seul à supporter la perte totale  $V$ .

Comme il n'en est pas ainsi, la section réelle doit être plus forte que celle donnée par  $s = \frac{ma}{Vc}$ , et, de la quantité donnée par le second terme, nous devons prendre ce dernier avec le signe  $+$ .

Si l'on prenait le signe  $-$ , on arriverait à une section trop petite, donnant lieu à une perte supérieure à celle qui est admise.

Dans le cas assez fréquent où l'on n'a que deux tronçons DP et PQ

$$\overline{D \qquad \qquad \qquad P \qquad \qquad \qquad Q}$$

la solution se simplifie

$$s = \frac{ma \left( 1 \pm M \sqrt{\frac{A}{\Sigma m^2 a}} \right)}{V c}.$$

devient

$$s = \frac{ma \pm M \sqrt{A a}}{V c}$$

(*Applaudissements.*)

**M. L'Hoeist** propose à l'assemblée de s'occuper de l'organisation de l'excursion et du banquet, dont la date pourrait être fixée vers la fin novembre ou être reportée en janvier. Il rappelle que c'est le 28 janvier 1887 que le groupe des fondateurs de l'Association a tenu sa première séance; sans doute, il sera de l'intention de tous de fêter le dixième anniversaire de la fondation de notre Société et c'est dans ce but qu'il propose d'ajourner le banquet et l'excursion jusqu'en janvier.

Après un court débat, l'assemblée nomme une Commission chargée d'organiser ces réunions et d'en fixer le moment opportun.

MM. Piérard, Massange, Noirfalise, Pio, Turchi, Somach, Mavroïdis, Fontaine et Larmoyer sont désignés pour faire partie de cette Commission avec le Président et le Secrétaire général.

La parole est ensuite donnée à **M. Piérard** qui communique à l'assemblée les renseignements ci-après :

### Les résultats économiques du système hydro-électrique Van Rysselberghe.

Il y a toujours utilité à noter l'échec d'un procédé industriel pour éviter sa dispendieuse résurrection dans la suite. C'est à ce titre que nous dirons quelques mots du système hydro-électrique préconisé avec tant de bruit par Van Rysselberghe il y a quelque sept ans.

Partant de ce principe que la résistance rencontrée par l'eau dans une conduite est en raison inverse de la cinquième puissance du diamètre intérieur des tuyaux et que, par conséquent, il suffit de doubler celui-ci pour rendre la résistance  $2^5$ , c'est-à-dire 32 fois plus faible, tandis qu'en doublant le diamètre d'un conducteur on ne réduit qu'au quart sa résistance électrique, cet inventeur prétendait qu'il est plus facile et moins coûteux de transporter l'énergie au moyen de l'eau comprimée que par l'électricité.

En creusant cette idée, il avait été amené à apporter au plus simple des moteurs hydrauliques, au tourniquet bien connu des cabinets de physique, des perfectionnements importants qui, selon lui, augmentaient considérablement le rendement de cet appareil, en donnant à sa marche une extrême régularité qui devait l'affranchir de toute surveillance.

Van Rysselberghe proposait donc de placer sur les branchements d'une conduite d'eau à haute pression, des tourniquets hydrauliques perfectionnés, accouplés directement à des dynamos dont le courant desservirait les groupes de maisons où ces appareils devaient être placés, car, à son avis, *l'électricité devait être consommée sur place*.

Il avait même émis cet étrange apophtegme :

*L'électricité ne se prête pas à un transport économique ; c'est la conséquence fatale de la loi de Foule.*

Pour Bruxelles, où il s'agissait à cette époque (1889) d'étudier la distribution d'électricité devant servir à l'éclairage, Van Rysselberghe proposait d'ériger sur les bords de la Senne une vaste usine hydraulique mue par la vapeur foulant de l'eau comprimée à 50 atmosphères dans 25 sous-stations hydro-électriques disséminées dans les divers quartiers de la ville, pour enfin alimenter de là 25 réseaux partiels d'éclairage pouvant desservir 40 000 lampes à incandescence de 16 bougies.

C'était, en somme, une distribution indirecte d'électricité obtenue par une distribution de force motrice et l'équivalent du système qui fonctionnait à Paris sous le nom de système Popp, avec cette différence, qu'au lieu d'air comprimé pour distribuer la force motrice, Van Rysselberghe préconisait l'eau comprimée.

Son système fut, cela va sans dire, vivement combattu par les électriciens, dans les mémorables discussions qui eurent lieu au Palais de la Bourse de Bruxelles. Finalement, on le rejeta, grâce surtout aux persévérants efforts de M. Bède, conseiller communal.

A Anvers, où fonctionnait déjà une distribution d'énergie mécanique par l'eau comprimée actionnant les appareils de levage du port, il n'en fut pas de même. Van Rysselberghe y trouva de sérieux appuis financiers d'où résulta la constitution de la Société Hydro-Electrique Anversoise.

C'est dans les résultats financiers accusés par cette Société que nous irons chercher le critérium de la valeur économique du système.

Dans son rapport sur les opérations du 2<sup>e</sup> exercice social, présenté le 1<sup>er</sup> avril 1895, le Conseil d'administration s'exprimait comme suit :

« Nous devons malheureusement conclure des expériences faites et des résultats obtenus, que le système » hydro-électrique est des plus onéreux. Non seulement



» les prévisions de l'inventeur sur le coût d'installation et  
» sur les dépenses d'exploitation ne sont pas confirmées,  
» mais il faut de plus constater que lorsque notre entreprise,  
» avec son outillage actuel, donnera son plein rendement,  
» les recettes ne laisseront qu'un faible excédent. Encore cet  
» excédent ne sera-t-il obtenu qu'en forçant journellement,  
» pendant les moments de production intense, la vitesse  
» normale de nos machines. Il y aura lieu, au préalable,  
» de nous assurer si ce régime ne leur est pas nuisible. »

Après une nouvelle année d'exploitation, l'appréciation du Conseil est plus pessimiste encore, car nous lisons dans le dernier rapport sous la date du 7 avril 1896 :

« Les recettes, pour fournitures de courant et d'eau  
» sous pression se sont élevées à fr. 210 717,63. Si l'on  
» considère que, durant les premiers mois de l'année, toute  
» notre production n'avait pas encore son emploi, et si,  
» d'un autre côté, il nous est permis d'escompter, pour un  
» avenir très prochain, l'éclairage des théâtres commu-  
» naux, nous pouvons évaluer à fr. 250 000 le maximum des  
» recettes réalisables avec nos installations hydro-élec-  
» triques. Nos prévisions de l'année dernière se trouvent  
» ainsi confirmées. Ce produit sera uniquement dû à notre  
» service électrique, car, malgré nos efforts, l'emploi de  
» notre force hydraulique n'a pu se répandre dans le  
» public : *les recettes pour fourniture d'eau, inscrites au*  
» *compte de profits et pertes, ont pris fin, les consommateurs*  
» *préférant l'usage des moteurs électriques à celui d'appareils*  
» *hydrauliques (\*)*. »

Et plus loin :

« En résumé, nous devons confirmer l'appréciation  
» émise l'année dernière à l'égard du système hydraulique,

---

(\*) C'est nous qui soulignons.

» en ajoutant que, grâce aux réformes introduites, nous  
» parviendrons à améliorer les résultats de l'entreprise,  
» *mais sans arriver toutefois à rémunérer le capital immobi-*  
» *lisé. Cette rémunération ne pourra résulter que des exten-*  
» *sions basées sur la production directe du courant électrique*  
» *et avec le concours de capitaux nouveaux (\*)*. Mais, dans  
» cette hypothèse, il est évident que le capital actuel ne  
» pourra être maintenu sur un pied de parfaite égalité avec  
» ces derniers. *Il faudra tenir compte de l'infériorité du*  
» *produit des installations hydro-électriques relativement à*  
» *celui des installations appelées à régénérer l'entreprise et*  
» *constituer en conséquence des avantages proportionnels au*  
» *profit des capitaux nécessités par celles-ci (\*)*. »

Ces déclarations sont trop nettes pour que nous les enveloppions d'un commentaire.

Disons seulement que le capital immobilisé dans l'affaire s'élève à près de 2 millions, dont fr. 1 074 407 pour le réseau et les stations hydro-électriques.

La clientèle ne s'est cependant pas fait tirer l'oreille, car le nombre d'abonnés à l'électricité était, au 31 décembre dernier, de 436, en augmentation de 118.

(Applaudissements).

La séance est levée à midi et demi.

---

(\*) C'est nous qui soulignons.

## CHRONIQUE.



**Perturbations ou influences nuisibles au bon fonctionnement des services téléphoniques et télégraphiques ou à la conservation des conduites souterraines, dues à l'exploitation électrique des tramways.** — Notre camarade M. Paul van Vloten a présenté à ce sujet un important rapport à l'assemblée tenue à Stockholm par *l'Union Internationale des Tramways*. Nous regrettons vivement qu'une constante tradition nous empêche de publier in-extenso, à la Chronique, un travail aussi fourni, aussi documenté et qui abonde en idées personnelles. Nous ne saurions trop engager les membres de l'Association, en situation de le faire, de lire l'exemplaire de ce rapport, dont notre camarade a fait hommage à la bibliothèque; nous devons aux autres un compte-rendu que nous enrichirons de citations sur les points qui intéressent le plus particulièrement l'électricien.

L'auteur examine premièrement les moyens directs propres à atténuer les causes des actions perturbatrices, ce qui l'amène tout d'abord à rechercher l'origine des variations de courant qui produisent les ondes parasites. Au Congrès de Genève, M. von Wietlisbach a attribué ces variations aux vibrations du fil aérien et au mauvais contact de ce conducteur avec l'appareil capteur de courant; ces effets nuisibles augmenteraient avec le temps par suite de l'altération des attaches du fil de trolley. M. von Wietlisbach trouve la preuve de son dire dans la moindre influence des prises de courant par arc frottant où le contact est plus constant, les supports plus distants et, par suite, les vibrations moindres. Il s'explique aussi de la sorte qu'en courbe, où les supports pour fil de trolley sont rapprochés, les influences sont plus sensibles.

M. van Vloten apporte la réfutation ci-après de cette opinion :

« Au lieu d'attribuer une influence prédominante aux variations de la résistance de contact entre le fil de trolley et la prise de courant, c'est le contact variable existant entre les roues de la voiture et les rails qui a été considéré comme le facteur principal des vibrations; en partant de cette idée, la plupart des faits observés par M. von Wietlisbach s'expliquent également très simplement.

» En ce qui concerne le premier fait constaté, il a été objecté qu'une installation faisant primitivement usage de la roulette et ayant remplacé cette dernière par l'arc frottant, dans le but de réduire les perturbations, n'a obtenu aucun résultat appréciable à la suite de cette substitution.

» L'influence plus forte lorsque les voitures sont en courbe a été expliquée non par la vibration plus rapide du fil de trolley, laquelle devrait élever la hauteur du son, mais par la vibration et le grincement des roues dans les courbes, ce qui produit une augmentation de l'intensité; or, c'est ce dernier phénomène qui a été constaté et non l'augmentation de la hauteur. La cause réside donc plutôt dans les vibrations des roues, plus grandes en courbe que dans les parties droites.

. . . . .

» L'augmentation des bruits perturbateurs après un certain temps d'exploitation s'explique de la façon suivante: lorsque les rails sont nouvellement posés, leur encastrement dans le sol amortit les vibrations, mais à la longue les rails ne faisant plus corps avec le sol vibrent d'autant plus fort; si l'on remarque donc des différences entre le système par arc frottant et la roulette, celles-ci

peuvent parfaitement provenir de la sous-structure des rails dans les installations comparées. Des essais pratiques qui ont été entrepris à Charlottenburg semblent confirmer ces conclusions.

» Ces expériences, relatées par M. Jul. West, peuvent se résumer brièvement comme suit :

» Deux voitures à chevaux avaient été attachées l'une à l'autre par des cordes, tandis que les trucks correspondants étaient reliés électriquement ensemble, de façon à compléter le circuit par les rails. Ce circuit primaire contenait quelques éléments de pile et des bobines d'induction, enfin un téléphone était placé dans le circuit secondaire.

» Les voitures ayant circulé sur des parties de voies très différentes au point de vue de la sous-structure, il a été constaté que les vibrations étaient les plus fortes et les plus rapides là où les rails reposaient sur un lit de béton, qu'elles étaient très sensiblement moindres pour les parties ballastées au moyen de gravier et enfin les plus faibles possible lorsque les rails reposaient sur du bois.

» Dans les courbes, le renforcement des vibrations a été perçu généralement; cependant dans les parties de voies posées sur un lit de béton, il n'a pas été possible de déterminer nettement ce renforcement. Il est probable que la faute en est au téléphone, lequel faisait déjà un tel bruit dans les parties droites qu'on ne pouvait plus percevoir l'augmentation probable des vibrations.

» Il est à remarquer aussi que les circonstances atmosphériques doivent avoir une assez grande influence : la pluie doit diminuer les perturbations qui sont dues à la variation de la résistance de contact entre les roues et les rails.

» Je crois que l'on peut attribuer en grande partie l'augmentation des effets nuisibles après quelque temps de

fonctionnement à ce fait qu'en général le service du Tramway suit une marche ascendante.

» Bien que ces essais prouvent à l'évidence que les variations de la résistance de contact entre les roues et les rails ont une certaine influence sur les perturbations téléphoniques, j'estime cependant que ces effets peuvent être regardés comme négligeables le plus souvent, eu égard aux pulsations du courant provoquées par les moteurs et les dynamos ; les expériences relatées ci-après et qui ont été faites à Zurich en mai dernier confirment cette manière de voir.

» La source d'électricité était constituée par la batterie d'accumulateurs de la station du Tramway et il n'existait sur la ligne que la seule voiture électrique destinée aux essais ; deux expériences ont été faites.

» Dans la première, la voiture ayant été placée en un point du réseau, on la souleva de terre de façon que les roues ne portassent plus ; on établit alors une connexion fixe avec le trolley et une autre avec les rails. Les moteurs ayant été mis en marche, en appliquant les freins sur les roues de façon à modérer plus ou moins la vitesse de rotation, on entendit exactement les mêmes tons dans le téléphone que ceux produits par une voiture circulant effectivement sur la voie.

» Dans la seconde expérience, la voiture fut placée sur une partie du réseau en forte pente, de façon à ce qu'elle pût rouler par l'action de la gravité seule ( la vitesse étant réglée par le frein ) ; de plus, on remplaça dans le circuit les moteurs par une résistance équivalente de façon à supprimer les pulsations occasionnées par ces appareils, tout en laissant le courant revenir par les roues et les rails comme à l'ordinaire. Dans ces conditions, on n'a pu constater aucun bruit dans le téléphone ni saisir aucune différence entre les instants pendant lesquels la voiture roulait ou bien restait immobile.

» Les variations de la résistance de contact entre les roues et les rails et entre la roulette et le trolley n'avaient donc aucune influence appréciable dans ce cas.

» Les expériences ont été faites au moyen d'un téléphone reliés à l'enroulement secondaire d'une bobine dont l'enroulement primaire (constitué par quelques spires de gros fil) était parcouru par le courant principal.

» En résumé, les moyens directs se ramènent à :

» Faire usage de dynamos et d'électromoteurs possédant un nombre assez grand de sections élémentaires dans les armatures, dans le but de diminuer l'amplitude des pulsations du courant et accessoirement :

» Améliorer le contact entre les roues et les rails, et entre le fil de trolley et l'appareil de prise de courant.

» Eviter autant que possible les vibrations de la voie et de l'appareillage aérien.

» Bien que ces moyens ne puissent être considérés que comme des palliatifs, l'importance pratique de ces considérations n'échappera à personne. »

L'auteur expose ensuite les moyens indirects d'éviter la dérivation des courants ou la production des ondes dans les circuits téléphoniques, ou tout au moins de combattre les effets nuisibles de ces actions.

Les risques d'un contact immédiat d'un circuit téléphonique et d'un fil de trolley peuvent être écartés par des moyens mécaniques, tels que l'isolation ou la protection par fils de garde. L'isolation complète n'est guère applicable qu'aux feeders de traction ou aux circuits téléphoniques, lorsqu'ils sont peu nombreux. Le système est de plus très coûteux. L'isolation du fil de trolley n'est possible que sur les parties non touchées par le trolley; on la réalise par des languettes de bois imprégné, peu isolantes en temps humide, incapables de s'opposer au contact par enroulement en spirale du fil brisé sur le fil du trolley ou

de résister à la chute d'un certain nombre de fils, enfin coûteuses et rapidement altérées. Les fils de garde ne donnent non plus qu'une sécurité relative.

« En résumé le problème consistant à écarter toute possibilité de contact n'est pas complètement résolu par les dispositifs de protection mécanique en usage (\*), mais s'ils ne donnent pas une sécurité absolue, ils rendent de grands services en diminuant dans une grande proportion les chances d'accidents; l'emploi d'une protection mécanique peut être considéré comme indispensable à l'intérieur des villes; dans la plupart des cas, il est même nécessaire de protéger non seulement les parties du fil de trolley se trouvant sous les portées téléphoniques, mais encore toute la longueur des conducteurs servant aux Tramways; c'est en effet presque toujours en tendant un nouveau fil téléphonique que les accidents se produisent. Il est inutile de faire remarquer aussi que, pour être efficaces, les appareillages protecteurs réclament une surveillance attentive et un entretien soigneux. »

Le filet de sûreté, placé sous les faisceaux téléphoniques, près des fils, est assez efficace et moins cher que l'isolation.

Si l'on ne peut absolument garantir les réseaux téléphoniques contre tout contact immédiat avec les conducteurs de traction, on dispose de moyens propres à combattre la détérioration des appareils de correspondance.

Un des plus efficaces est la mise à la terre des fils téléphoniques brisés, soit en les enfilant chacun dans un anneau mis à la terre, anneau qui entoure le fil, sans le

---

(\*) Sauf cependant par le procédé coûteux consistant à placer les conducteurs à faible courant dans le sol.



toucher et très près de son attache, soit en tendant sous le faisceau et en travers un fil relié au sol et sur lequel portent les fils de correspondance qui se rompent. La liaison aux rails, plutôt qu'au sol, pour le fil de mise à la terre est évidemment plus recommandable.

« L'efficacité de ces procédés de mise à la terre a été essayée à Nuremberg. Les résultats obtenus ont été des plus satisfaisants; dans les conditions indiquées, la rupture des fils téléphoniques et leur contact avec le trolley n'a détérioré aucun des appareils reliés, tandis que dans les essais où la communication à la terre avait été intentionnellement supprimée, les appareils ont été détruits, ou bien lorsqu'on a intercalé des fils fusibles, ceux-ci ont sauté.

» Le dispositif qui vient d'être décrit peut cependant ne pas donner complète sécurité dans certaines circonstances défavorables. On a objecté, par exemple, que: si le fil téléphonique brisé se fond à l'endroit du contact avec l'œillet ou le conducteur de terre, l'indicateur acoustique ou autre de la station centrale n'indiquera plus l'existence d'aucun contact; cependant l'extrémité libre du fil tombé peut encore être très dangereuse à toucher, si l'on remet le courant sur la ligne en réenclanchant l'automatique. Il peut arriver aussi que la résistance du fil téléphonique brisé et des contacts soit suffisante pour rendre le courant de terre trop faible pour faire déclancher le coupe-circuit.

» Afin de se mettre à l'abri de ces éventualités, le procédé a été perfectionné par l'adjonction d'un commutateur automatique spécial placé sur la ligne entre les œillets ou les conducteurs de terre du faisceau téléphonique et les rails.

» Dans ces conditions, lorsqu'il se produit un contact, ce commutateur entre en jeu pour établir une connexion entre la section du fil trolley où s'est produit l'accident et

la terre; ce qui a pour effet de faire sauter immédiatement et à coup sûr l'automatique relié au feeder de la section considérée (cet appareil ne doit plus être réenclanché avant qu'un agent ait fait disparaître le contact). Afin d'empêcher le fil de se fondre ou de se couper, on intercale une résistance suffisante dans le circuit du commutateur de terre.

» Avec ce système il est donc nécessaire de placer un coupe-circuit automatique et un conducteur de terre dans chaque feeder, de plus les feeders doivent être isolés les uns des autres afin de ne pas arrêter tout le service en cas d'accident et de pouvoir localiser aisément l'endroit du défaut. Le dispositif a été appliqué à Zwickau; des essais analogues se poursuivent à Dresde.

» Il est clair aussi qu'avec ces systèmes on peut manipuler sans danger de choc les fils tombés; d'autre part, lorsque le nombre de traversées est très considérable, le procédé devient tant soit peu compliqué et cher.

» Comme il est toujours prudent d'intercaler des fils fusibles dans les circuits téléphoniques (et quoique deux sécurités valent mieux qu'une), l'emploi simultané d'un dispositif de mise à la terre peut paraître superflu, si l'on se place au point de vue seul de la protection des appareils, mais si l'on envisage la question de sécurité des personnes et des animaux, on est obligé de reconnaître sa grande utilité, c'est pourquoi il a été imposé dans certaines installations, notamment en Saxe. »

Quelque confiance que l'on ait dans les moyens de protection énumérés, il est nécessaire, dit M. van Vloten, de défendre les appareils des circuits téléphoniques par des coupe-circuits fusibles. L'inconvénient de ces appareils est de fonctionner en temps d'orage, ce qui peut amener un grand désarroi dans un réseau par la fusion

simultanée d'un grand nombre de plombs. On a tourné la difficulté en faisant usage de doubles fusées, placées en dérivation, dont l'une ne part que par un courant un peu prolongé ; c'est seulement après le départ de celle-ci que la seconde, moins sensible, est introduite dans le circuit.

L'auteur passe ensuite en revue les moyens employés pour prévenir les perturbations résultant de dérivations et de l'induction dans les circuits téléphoniques.

« Si une ligne téléphonique est voisine d'un circuit de traction électrique à retour non isolé, des bruits perturbateurs se font entendre dans le téléphone

» Dès qu'une terre des téléphones est voisine des rails, les dérivations peuvent se produire et provoquer des bruissements

» Lorsque le circuit téléphonique a ses deux terres voisines des rails les perturbations augmentent.

» En ce qui concerne l'induction :

» Les effets électro-statiques se font sentir les premiers et déjà aux distances relativement grandes de 50 à 300<sup>m</sup> suivant les longueurs des circuits influençants et influencés. Les effets électro-magnétiques paraissent notablement inférieurs aux autres, sinon négligeables.

Selon les circonstances locales, la dérivation ou l'induction possèdent une influence prédominante au point de vue des perturbations, toutefois l'induction peut être considérée comme la cause principale et la plus difficile à combattre. Si le téléphone adoptait le double fil, la question pourrait être considérée comme résolue (\*).

---

(\*) Il est probable que les Compagnies de téléphone reconnaîtront de plus en plus la nécessité de faire usage du double fil, tant pour faciliter les communications de ville en ville, que pour éviter les perturbations résultant des circuits à haute tension ; plusieurs grandes villes ont déjà adopté ce système, dans d'autres la transformation est en

» Les croisements ne sont pas dangereux si le même fil ne coupe pas trop souvent les voies et si la distance du fil de trolley est suffisante; cependant dans le cas de courants alternatifs, un simple croisement à angles droits peut suffire pour occasionner des bruits perturbateurs.

» Les causes originelles des perturbations (ondulations du courant primaire, variation de la résistance du circuit, etc.) ne pouvant être totalement supprimées, le problème consiste à enrayer la propagation des courants et des ondes dans les circuits téléphoniques ou à réduire l'influence perturbatrice de ces actions. »

Les dérivations du retour du courant des tramways, dans les circuits de correspondance, influencent peu les appareils télégraphiques ; leur action sur les téléphones est plus marquée. Elle peut nuire fortement à l'audition et même rendre celle-ci tout-à-fait impossible, particulièrement dans le cas d'emploi de moteurs à courants alternatifs.

On prévient les dérivations en appliquant aux installations de tramway des moyens ayant pour but :

« 1<sup>o</sup> La diminution de la résistance du retour.

» a) En augmentant la conductibilité des rails;

» b) En employant des conducteurs de retour spéciaux (feeders) entre l'usine et certains points des voies, ou bien en isolant le pôle négatif de la dynamo de la terre (en intercalant, au fur et à mesure qu'on se rapproche de l'usine,

---

cours d'exécution ou très prochaine. La première considération étant très importante, il ne serait que juste que les Sociétés de Tramways n'aient pas à intervenir dans les frais de modifications ou tout au moins que cette part d'intervention soit minime, d'autant plus que le double fil a été adopté dans certaines villes où n'existent pas de Tramways électriques.

des résistances croissantes entre les rails et un conducteur isolé établi le long des voies).

» 2° L'augmentation de la résistance des circuits dérivés en isolant les rails et les retours (\*).

» 3° La diminution du courant dans les retours.

» a) En choisissant judicieusement l'emplacement de l'usine, en installant plusieurs usines ou en prévoyant des centres secondaires de distribution ;

» b) En employant la distribution à 3 fils.

» 4° La suppression complète du retour par les rails.

» a) En faisant usage de conducteurs aériens ou souterrains isolés ;

» b) En employant les accumulateurs. »

D'autre part, on peut réaliser dans les installations téléphoniques :

« 1° La suppression des prises de terre téléphoniques aux conduites d'eau ou de gaz reliées aux retours du Tramway ou très voisines des rails, l'éloignement des prises de terre téléphoniques hors de la zone longeant les voies.

» 2° L'isolement aussi parfait que possible des circuits téléphoniques spécialement lorsqu'ils empruntent les mêmes supports que les conducteurs à fort courant. (On conçoit que cet isolement est difficile à réaliser avec les hautes tensions.)

» 3° L'intercalation de résistances appropriées dans les

---

(\*) Afin d'empêcher que l'influence sur les appareils téléphoniques ne s'étende inutilement le long des voies, une mesure très efficace peut être employée dans certains cas, elle consiste à isoler électriquement les rails des voies à traction par chevaux, des voies à traction électrique; ce système a donné les meilleurs résultats à Bruxelles, l'isolation obtenue par le gâiac a été trouvée suffisante.

circuits téléphoniques (l'inconvénient du système est de diminuer la netteté de la transmission).

» Après les procédés pour combattre les dérivations proprement dites viennent les systèmes qui tout en supprimant les dérivations ont été imaginés surtout en vue de combattre les influences perturbatrices dues à l'induction (double fil, etc.). »

L'induction dans les circuits téléphoniques tient, dans le travail de M. van Vloten, la place importante qui lui revient. Bien qu'elle ne soit pas seule à agir, c'est l'induction électro-statique qui est la plus redoutable ; elle constitue l'obstacle le plus sérieux aux applications des courants polyphasés aux tramways.

Comme moyens préventifs applicables aux installations de traction, on conseille :

L'alimentation des sections du fil de trolley par les deux bouts, afin que deux courants de sens opposé arrivent au moteur ; leur induction électro-magnétique sur un fil tendu parallèlement est ainsi compensée en partie.

L'emploi, dans le circuit du tramway, de bobines d'induction compensatrice ; ce moyen mentionné dans le règlement du *Board of Trade* n'a pas été appliqué sur le continent, à l'avis de l'auteur.

Les dispositifs applicables aux installations téléphoniques sont plus nombreux.

On peut tout d'abord faire usage d'un circuit métallique complet, soit en employant le double fil pour chaque abonné, soit qu'on affecte un fil isolé ou non isolé au retour commun de plusieurs circuits.

Le premier montage serait l'idéal du circuit téléphonique n'était son prix élevé ; le second a été réalisé dans le système Piérard moins parfait évidemment, mais qui paraît susceptible d'applications heureuses.

On a cherché à limiter l'usage du double fil aux zones influencées par le circuit du tramway ; en dehors de cette région, un transformateur transmet les ondes à un circuit à fil unique qui s'étend sur la partie non influencée.

La conclusion de l'auteur est formelle : la seule solution rationnelle est le dédoublement des fils qui, tout en garantissant des perturbations dues aux réseaux de tramways, permettra de réaliser d'autres améliorations dans le service téléphonique.

Les phénomènes de corrosion due à l'action électrolytique des courants de retour ont fait l'objet de plusieurs notes insérées au *Bulletin*. Nous serons donc brefs dans le compte-rendu de l'important chapitre que M. van Vloten leur consacre dans son travail.

Comme remède, on cherche à localiser dans le voisinage de l'usine la zone soumise aux corrosions, en connectant le fil de trolley à la borne positive de la dynamo. L'inconvénient est l'action plus destructive pour le fil de trolley des arcs qui jaillissent entre la roulette et le fil.

On a tenté sans succès de reporter les actions électrolytique sur des plaques de terre couvrant électriquement les conduites vers l'usine.

La diminution de la résistance du retour, l'augmentation de la résistance des circuits dérivés par les conduites, la diminution du courant dans les rails sont d'autres moyens que l'auteur examine avec beaucoup de soins, mais que nous ne ferons que citer, le sujet ayant été développé au *Bulletin*.

Il en est de même des procédés consistant à canaliser et à soutirer les courants dérivés circulant dans les conduites aux endroits dangereux.

L'examen du procédé de renversement périodique du courant amène l'auteur à la discussion de l'emploi des courants alternatifs :

« Bien que la suppression des dangers de corrosion par l'emploi des courants alternatifs ne puisse laisser aucun doute, il est probable que ce ne sont pas des considérations de cette nature qui ont fait adopter dernièrement cette solution pour l'installation de Lugano (\*), mais plutôt les autres avantages généraux des courants alternatifs.

» Ces avantages sont les suivants :

» Le transport économique de l'énergie à grande distance par des lignes peu coûteuses (en faisant usage de hautes tensions).

» La division de l'énergie et la distribution à une tension convenable par des transformateurs, n'exigeant aucune surveillance et ne contenant aucune partie mobile.

» Enfin l'utilisation de l'énergie au moyen des moteurs moins sujets à se déranger que les moteurs à courant

---

(\*) La première application directe de ces courants à la traction existe seulement depuis quelques mois, mais cette tentative mérite cependant de fixer l'attention; il est fort probable même que, dans certains cas, les courants polyphasés remplaceront les courants continus pour la traction, surtout dans les chemins de fer électriques, parce que ce procédé s'applique le mieux aux réseaux très étendus ou très distants de l'usine primaire.

Les courants polyphasés sont donc appelés à jouer un rôle important dans l'utilisation des forces naturelles (souvent éloignées des lignes à desservir).

Les moteurs polyphasés marchent à vitesse constante quelque soit la charge, ils n'accélèrent pas l'allure de la voiture dans les pentes ou ne la ralentissent pas dans les rampes, de plus dans les descentes ils agissent comme dynamos en soulageant d'autant les génératrices de l'usine; les moteurs triphasés démarrent, à égalité de puissance, aussi bien sous charge que les moteurs à courant continu. Le couple au démarrage peut même être plus fort pour les premiers sans aucun inconvénient, cependant, si les voitures doivent démarrer fréquemment, les moteurs polyphasés ne conviennent pas aussi bien à cause de la nécessité d'intercaler des résistances de démarrage.



continu (ne contenant pas d'organes aussi délicats que le collecteur), d'un poids moindre et tenant moins de place.

» On peut cependant objecter aux courants triphasés qu'ils exigent l'emploi d'un double fil de trolley (les rails servant de 3<sup>e</sup> conducteur), ce qui complique l'appareillage dans les croisements; il est à remarquer toutefois que les fils de trolley ne doivent pas être aussi forts qu'avec le courant continu.

» Les courants alternatifs donnent lieu également à une induction très énergique dans les circuits télégraphiques et téléphoniques; enfin ils sont plus dangereux à manier.

» Le procédé semble donc s'appliquer surtout aux grandes lignes suburbaines où n'existent que peu de croisements, où les questions d'esthétique et d'induction n'ont pas grande importance; néanmoins, si ce système pouvait être combiné avec la conduite souterraine, une partie des inconvénients cités disparaîtraient.»

Après quelques considérations sur le double conducteur aérien ou souterrain, l'auteur traite la question des joints avec quelques détails.

Enfin il termine ce remarquable rapport par quelques observations critiques du règlement du *Board of Trade*.

« Il n'est pas à souhaiter — dit-il — que cette réglementation soit adoptée sur le continent, tout au moins dans toute sa rigueur, car il est probable que l'extension relativement faible des installations de traction électrique dans le Royaume-Uni est le fait de certaines clauses assez sévères. »

Les droits acquis des nombreuses installations du continent nous mettront, sans doute, à l'abri de ces entraves officielles à l'épanouissement de l'industrie du tramway électrique.

G. L.

\* \* \*

**Informations.** — Nous apprenons le mariage de notre camarade M. Bayet, Maurice, avec M<sup>lle</sup> Marie Wilmotte; celui de notre camarade M. Lemaire, Léon, avec M<sup>lle</sup> Rose de Fooz, celui de notre camarade M. Zunini, Luigi, avec M<sup>lle</sup> Pina Badano, et celui de notre camarade M. Dessain, Joseph, avec M<sup>lle</sup> Henriette Ancion.

\* \* \*

### **Examens de sortie de l'Institut Montefiore.**

Ont obtenu le diplôme d'ingénieur-électricien ,

1<sup>o</sup> dans la section des élèves ingénieurs :

Avec grande distinction : M. Huillet, Antoine, de Lyon ;

Avec distinction : MM. Schœffer, Louis, d'Anvers ; Rosenfeld, Léon, de St-Pétersbourg ; Choulguin, Eugène, de Riazan ;

D'une manière satisfaisante : MM. Dessain, Joseph, de Chênée ; Ilkoff, Urdan, de Rozgrad.

2<sup>o</sup> dans la section des ingénieurs :

Avec la plus grande distinction : M. Briffaux, Alphonse, de St-Josse ten Noode ;

Avec grande distinction : MM. Sarrat, Frédéric, de Spicker ; Alfieri, Giuseppe, de Macerata ; Massange, Maurice, de Stavelot ; Nothomb, Gérard, de Berlin ;

Avec distinction : MM. Del Puglia, Antonio, de Siena ; Guistetti, Umberto, de Pignerole ; Riboni, Pietro, de Milan ; Markovitch, Grégoire, de Pancsova ; Henrion Albert, d'Andenne ; Bailly, Armand, de Liège ; Baffrey, Raymond, de Romiermont ; Robert, Paul, de Nivelles ; Betoichi, Arthur, de Naples ; Somach, Henri-Haine, de Vilna ; Mathieu, Emile, de Gosselies ; Turchi, Carlo, de Ferrare ;

D'une manière satisfaisante : MM. Hertz, Wilhem, de Czenstochowa ; Collin, Emile, de Montreux Jeune ; De Waal, Willem-Hendrick, de Banjoemar ; de Koning, Elisabethus, de Goes ; de Meglitzky, Nicolas, de St-Pétersbourg ; Fontaine, Henri, de Gœfferdingen ; Reculez, Maurice, de Grivegnée ; Jacques, Julien, de Froidthier ; Van der Wallen de Fernig, Guillaume, de Villers-Cagnicourt ; Cavalieri, Filippo, de Trieste ; de Rote, Robert, de Bruxelles ; Martin, Gaston, de Montastruc ; Everarts, Alphonse, de Bierbois ; Baert, Adrien, d'Utrecht ; Peeters, François, de Retinne ; Duchesne, Georges, de Seraing ; Pio Cesare, de Côme ; Rizzo, Guguelmo, de Naples.

Ont obtenu le certificat de fréquentation avec fruit :

Avec distinction : M. Pierron, Paul, de Lyon ;

D'une manière satisfaisante : MM. Piedbœuf, Louis, de Dusseldorf ; Wigny, Paul, de Huy ; Rensonnet, Alfred, de Verviers ; Mavroïdis, Georges, du Caire ; Linder, Léo, de Vienne ; Horowitz, Samuel, de Kieff ; Rhoné, Jean, de Paris.

\* \* \*

La Commission, chargée par l'Assemblée du 25 octobre d'organiser l'excursion et le banquet annuels pour les faire coïncider avec le dixième anniversaire de la fondation de l'Association, s'est réunie le 1<sup>er</sup> novembre et a pris les résolutions suivantes :

Le banquet aura lieu un dimanche de fin janvier prochain, à l'issue de la séance mensuelle, et sera suivi, le lundi, d'une excursion à Charleroi.

Comme il est à prévoir que la célébration du X<sup>e</sup> anniversaire attirera de nombreux camarades éloignés, le Comité se mettra à leur disposition pour leur faciliter la visite d'autres installations de la région.

Une circulaire indiquera ultérieurement le programme des réunions.

## TABLE DES MATIÈRES



### Partie administrative.

|                                                                                       | Pages. |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Liste des membres de l'Association . . . . .                                          | 3      |
| Procès-verbal de la séance du 24 novembre 1895 . . . . .                              | 23     |
| Rapport annuel du Secrétaire Général . . . . .                                        | 23     |
| Situation financière de la Société . . . . .                                          | 29     |
| Procès-verbal de la séance du 22 décembre 1895 . . . . .                              | 50     |
| Procès-verbal de la séance du 26 janvier 1896 . . . . .                               | 97     |
| Procès-verbal de la séance du 23 février 1896 . . . . .                               | 149    |
| Procès-verbal de la séance du 29 mars 1896 . . . . .                                  | 198    |
| Procès-verbal de la séance du 26 avril 1896 . . . . .                                 | 239    |
| Procès-verbal de la séance du 12 juillet 1896. — Élection<br>présidentielle . . . . . | 291    |
| Procès-verbal de la séance du 25 octobre 1896. — Élection<br>du Comité . . . . .      | 327    |

### Communications techniques et scientifiques.

#### Mémoires.

|                                                                                                                                                             |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Mélotte.</b> — Note sur le calcul des dynamos. Discours inau-<br>gural du Président . . . . .                                                            | 29        |
| <b>Pierard.</b> — La question du mélange des courants dans les<br>lignes aériennes . . . . .                                                                | 50        |
| <b>Eric Gerard et G. Henrard.</b> — Notes sur les courants poly-<br>phasés. . . . .                                                                         | 59        |
| <b>De Bast.</b> — La pratique actuelle des installations de tramway<br>électrique . . . . .                                                                 | 98 et 240 |
| <b>Eric Gerard.</b> — Sur la photographie des corps invisibles. . .                                                                                         | 149       |
| <b>Mavroïdis.</b> — Les récentes modifications des appareils de<br>prises de courant pour tramways électriques alimentés par<br>conducteur aérien . . . . . | 162       |
| <b>Cruciani.</b> — A propos du retour du courant par les rails dans<br>les installations de traction électrique . . . . .                                   | 169       |

|                                                                                                                                                 |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Del Proposto.</b> — Sur le calcul des réseaux de tramway . . .                                                                               | 198 |
| <b>Pierard.</b> — Les supports métalliques usuels des lignes électriques aériennes ; composition et détermination de leurs dimensions . . . . . | 221 |
| <b>Pierard.</b> — L'attache Manne des fils aériens aux isolateurs pour lignes à grandes portées. . . . .                                        | 235 |
| <b>Henrard.</b> — Installations hydrauliques et électriques de la Société Lyonnaise des Forces motrices du Rhône. . . . .                       | 275 |
| <b>Pierard.</b> — Discussion de la note sur le retour du courant par les rails dans les installations de traction électrique . . . . .          | 292 |
| <b>L'Hoest.</b> — Note sur les résistances partielles des rhéostats de démarrage des moteurs électriques à courant continu . . .                | 295 |
| <b>Mélotte.</b> — Recherche des conditions de dépenses minimum de cuivre dans les distributions d'électricité . . . . .                         | 328 |
| <b>Pierard.</b> — Les résultats économiques du système hydro-électrique Van Rysselberghe . . . . .                                              | 332 |

### Compte rendus, traductions, extraits.

|                                                                                                                                                                                                                                        |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Règlement sur l'emploi de l'électricité dans les mines, minières, carrières et usines régies par la loi du 21 avril 1810. Arrêté royal du 15 mai 1895. . . . .                                                                         | 88 et 129 |
| Discussion du règlement sur l'emploi de l'électricité dans les mines, minières, carrières et usines régies par la loi du 21 avril 1810. Arrêté royal du 15 mai 1895 . . . . .                                                          | 188       |
| Manifestation en l'honneur de M. Eric Gerard à l'occasion de sa nomination dans l'Ordre de Léopold . . . . .                                                                                                                           | 303       |
| Les fêtes du jubilé de Lord Kelvin. . . . .                                                                                                                                                                                            | 321       |
| <b>Van Vloten.</b> — Perturbations ou influences nuisibles au bon fonctionnement des services téléphoniques et télégraphiques ou à la conservation des conduites souterraines, dues à l'exploitation électrique des tramways . . . . . | 336       |

### Divers.

|                                                      |     |
|------------------------------------------------------|-----|
| Examens de sortie de l'Institut Montefiore . . . . . | 351 |
| Table des matières . . . . .                         | 353 |























✓



Digitized by Google



